

## 明 細 書

静電吸引型流体吐出装置、静電吸引型流体吐出方法、およびそれを用いた描画パターン形成方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、インク等の導電性流体を帯電させ、その流体をノズルから静電吸引することで、基板などの対象物上に流体を吐出する静電吸引型流体吐出装置に関するものである。

### 背景技術

[0002] 一般に、インク等の流体を対象物(記録媒体)上に吐出する流体ジェット方式にはインクジェットプリンタとして実用化されているピエゾやサーマルなどの方式があるが、その他の方式として、吐出する流体を導電性流体とし、導電性流体に電界を印加してノズルから吐出させる静電吸引方式がある。

[0003] このような静電吸引方式の流体吐出装置(以下、静電吸引型流体吐出装置と称する)としては、例えば、日本国特許公報である特公昭36-13768号公報(公告日1961年8月18日)および日本国公開特許公報である特開2001-88306号公報(公開日2001年4月3日)において開示がある。

[0004] また、日本国公開特許公報である特開2000-127410号公報(公開日2000年5月9日)には、ノズル孔をスリット状とすると共にノズル孔に突出した針電極を設け、該針電極を用いて微粒子を含むインクを吐出する装置が開示されている。また、日本国公開特許公報である特開平8-238774号公報(公開日1996年9月17日)には、ノズル孔より内部のインク室に電圧印加用の電極を設けた装置が開示されている。

[0005] ここで、従来の静電吸引型流体吐出装置における流体吐出モデルを説明する。

[0006] 静電吸引型流体吐出装置とりわけオンデマンド型の静電吸引型流体吐出装置の設計要因としては、インク液体の導電性(例えば比抵抗 $10^6 \sim 10^{11} \Omega \text{ cm}$ )、表面張力(例えば $0.020 \sim 0.040 \text{ N/m}$ )、粘度(例えば $0.011 \sim 0.015 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ )、印加電圧(電場)がある。そして、印加電圧としては、ノズルに印加する電圧、およびノズルと対向電極間との距離が特に重要とされていた。

[0007] 静電吸引型流体吐出装置においては、電気流体的な不安定性を利用しており、図32にこの様子を示す。一様電界の中に導電性流体を静置すると、導電性流体の表面に作用する静電力が表面を不安定にし、曳き糸の成長を促す(静電曳き糸現象)。この時の電場は、ノズルと、ノズル先端のノズル孔と距離 $h$ を隔てて対向する対向電極との間に電圧 $V$ を印加したときに発生する電場 $E_0$ とする。この時の成長波長 $\lambda_c$ は物理的に導くことが可能であり(例えば、「画像電子情報学会, 第17巻, 第4号, 1988年, p.185-193」)、次式で表される。

$$\lambda_c = \frac{2\pi\gamma}{\epsilon_0} E_0^{-2} \quad \dots (1)$$

[0008] ここで、 $\gamma$ :表面張力(N/m)、 $\epsilon_0$ :真空の誘電率(F/m)、 $E_0$ :電界の強さ(V/m)である。ノズル径 $d$ (m)が、 $\lambda_c$ よりも小さい場合、成長は起こらない。すなわち、

$$d > \frac{\lambda_c}{2} = \frac{\pi\gamma}{\epsilon_0 E_0^2} \quad \dots (2)$$

が、吐出のための条件となっていた。

[0009] ここで、 $E_0$ は平行平板を仮定した場合の電界強度(V/m)で、ノズル-対向電極間距離を $h$ (m)、ノズルに印加する電圧を $V_0$ として、

$$E_0 = \frac{V_0}{h} \quad \dots (3)$$

したがって、

$$d > \frac{\pi\gamma h^2}{\epsilon_0 V_0^2} \quad \dots (4)$$

となる。

[0010] 流体吐出装置では、一般的により微細なドット形成やライン形成を可能とするために、インクを吐出するノズルの径を小さくしたいといった要望がある。

[0011] しかしながら、現在実用化されているピエゾ方式やサーマル方式などの流体吐出装置では、ノズル径を小さくして、例えば1pLを下回るような微小量の流体の吐出は困

難である。これは、流体を吐出するノズルが微細になるほど吐出に必要な圧力が大きくなるためである。

[0012] また、上述のような流体吐出装置では、液滴の微細化と高精度化は相反する課題であり、両方を同時に実現するのは困難であった。これは以下の理由による。

[0013] ノズルから吐出された液滴に付与される運動エネルギーは、液滴半径の3乗に比例する。このため、ノズルを微細化した場合に吐出される微細液滴は、吐出時の空気抵抗に耐えるほどの十分な運動エネルギーを確保できず、空気滞留などによる攪乱を受け、正確な着弾を期待できない。さらに、液滴が微細になるほど、表面張力の効果が増すため、液滴の蒸気圧が高くなり蒸発量が激しくなる。このため、微細液滴は飛翔中に著しい質量の消失を招き、着弾時に液滴の形態を保つことすら難しいという問題があった。

[0014] またさらに、上述した従来の静電吸引型流体吐出装置における流体吐出モデルに基づくと、上記(2)式より、ノズル径の減少は吐出に必要な電界強度の増加を要請することとなる。そして、電界強度は、上記(3)式に示すように、ノズルに印加する電圧(駆動電圧) $V_0$ とノズル-対向電極間距離 $h$ とによって決まるため、ノズル径の減少は駆動電圧の上昇を招来する。

[0015] ここで、従来の静電吸引型流体吐出装置における駆動電圧は、1000V以上と非常に高いため、各ノズル間でのリークや干渉化を考慮すると小型化および高密度化は難しく、ノズル径をさらに小さくすると上記問題がより大きなものとなる。また、1000Vを越えるような高電圧のパワー半導体は一般的に高価で周波数応答性も低い。

[0016] 尚、特公昭36-13768号公報で開示されているノズル径は0.127mmであり、特開2001-88306号公報で開示されているノズル径の範囲は50-2000 $\mu\text{m}$ 、より好ましくは100-1000 $\mu\text{m}$ といった範囲であった。

[0017] ノズル径に関して、従来の静電吸引型流体吐出における典型的な動作条件を当てはめて計算してみると、表面張力0.020N/m、電界強度 $10^7\text{V/m}$ として、上記(1)式に代入して計算すると、成長波長 $\lambda_c$ は約140 $\mu\text{m}$ となる。すなわち、限界ノズル径として70 $\mu\text{m}$ という値が得られる。すなわち、上記条件下では $10^7\text{V/m}$ の強電界を用いてもノズル径が直径70 $\mu\text{m}$ 程度以下の場合は背圧を印加して強制的にメニス

カス形成させるなどの処置をとらない限り、インクの成長は起こらず、静電吸引型流体吐出は成立しないと考えられていた。すなわち、微細ノズルと駆動電圧の低電圧化は両立しない課題と考えられていた。

- [0018] 以上のように、従来の流体吐出装置では、ノズルの微細化と高精度化は相反する課題であり、両方を同時に実現することは困難であった。また、特に静電吸引型流体吐出装置では、ノズルの微細化と駆動電圧の低電圧化とは両立しない課題と考えられていた。

#### 発明の開示

- [0019] 本発明は、上記の問題点を解決するためになされたもので、その目的は、ノズルの微細化と微小流体の吐出及び着弾位置の高精度化、さらに、駆動電圧の低電圧化をすべて実現した静電吸引型流体吐出装置を提供することにある。
- [0020] 上記の目的を達成するために、本発明に係る静電吸引型流体吐出装置は、ノズルと吐出先部材、例えば絶縁性基板との間に駆動電圧印加手段から駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させる静電吸引型流体吐出装置において、前記ノズルの孔径は $\phi 0.01 \mu\text{m}$ ～ $\phi 25 \mu\text{m}$ であり、前記駆動電圧印加手段は、前記駆動電圧として、正負両極性に反転する両極性パルス電圧であり、周波数が1Hz以上の電圧を出力することを特徴としている。
- [0021] また、本発明の静電吸引型流体吐出方法は、ノズルと吐出先部材、例えば絶縁性基板との間に駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させる静電吸引型流体吐出方法において、前記ノズルの孔径は $\phi 0.01 \mu\text{m}$ ～ $\phi 25 \mu\text{m}$ であり、前記駆動電圧は、正負両極性に反転する両極性パルス電圧であり、周波数が1Hz以上の電圧であることを特徴としている。
- [0022] 従来、静電吸引型流体吐出装置において、ノズル孔径の縮小は吐出に必要な電界強度の増加を招来するため、ノズル孔径の微細化と駆動電圧の低電圧化は両立し得ないと考えられていた。これに対し、本願発明では、ノズル孔径を $\phi 0.01 \mu\text{m}$ ～ $\phi 25 \mu\text{m}$ の微細径とした場合に局所電界が発生し、吐出における駆動電圧の低下

が可能になるという新たな知見に基づき、ノズル孔径を上記範囲内とすることにより、ノズル孔径の微細化と駆動電圧の低電圧化の両立を実現している。

- [0023] また、上記の構成では、ノズルに印加する駆動電圧が、正負両極性に反転する両極性パルス電圧であり、周波数が1Hz以上の電圧となっているので、吐出先部材のチャージアップによる吐出先部材での液滴の飛散領域の拡大と駆動電圧の上昇とを抑制することができる。この結果、吐出先部材に対する微細パターンの形成を、ノズルの低電圧駆動により、かつ鮮明に行うことができる。
- [0024] 本発明の静電吸引型流体吐出装置は、ノズルと吐出先部材、例えば絶縁性基板との間に駆動電圧印加手段から駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させる静電吸引型流体吐出装置において、前記ノズルの孔径は $\phi 0.01 \mu\text{m} \sim \phi 25 \mu\text{m}$ であり、前記駆動電圧印加手段は、前記駆動電圧として、正負両極性に反転する両極性パルス電圧であり、前記流体の電気伝導度 $\sigma \text{ S/m}$ および比誘電率 $\epsilon$ に対して、 $\tau = \epsilon / \sigma$ にて決定される時定数 $\tau$ と駆動電圧周波数 $f\text{Hz}$ との関係が $f \leq 1 / (2 \tau)$ となる電圧を出力することを特徴としている。
- [0025] また、本発明の静電吸引型流体吐出方法は、ノズルと吐出先部材、例えば絶縁性基板との間に駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させる静電吸引型流体吐出方法において、前記ノズルの孔径は $\phi 0.01 \mu\text{m} \sim \phi 25 \mu\text{m}$ であり、前記駆動電圧は、正負両極性に反転する両極性パルス電圧であり、前記流体の電気伝導度 $\sigma \text{ S/m}$ および比誘電率 $\epsilon$ に対して、 $\tau = \epsilon / \sigma$ にて決定される時定数 $\tau$ と駆動電圧周波数 $f\text{Hz}$ との関係が $f \leq 1 / (2 \tau)$ となる電圧であることを特徴としている。
- [0026] 従来、静電吸引型流体吐出装置において、ノズル孔径の縮小は吐出に必要な電界強度の増加を招来するため、ノズル孔径の微細化と駆動電圧の低電圧化は両立し得ないと考えられていた。これに対し、本願発明では、ノズル孔径を $\phi 0.01 \mu\text{m} \sim \phi 25 \mu\text{m}$ の微細径とした場合に局所電界が発生し、吐出における駆動電圧の低下が可能になるという新たな知見に基づき、ノズル孔径を上記範囲内とすることにより、ノズル孔径の微細化と駆動電圧の低電圧化の両立を実現している。

- [0027] また、上記の構成では、ノズルに印加する駆動電圧として、正負両極性に反転する両極性パルス電圧であり、流体の電気伝導度  $\sigma$  S/m および比誘電率  $\epsilon$  に対して、 $\tau = \epsilon / \sigma$  にて決定される時定数  $\tau$  と駆動電圧周波数 fHz との関係が  $f \leq 1 / (2 \tau)$  となる電圧を出力するので、ノズルからの吐出最低電圧の上昇を抑制し、かつ吐出先部材上における液滴の飛散領域を狭くし、吐出先部材上において鮮明な微細パターンを形成することができる。
- [0028] 本発明の静電吸引型流体吐出装置は、ノズルと吐出先部材、例えば絶縁性基板との間に駆動電圧印加手段から駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させるとともに、移動手段にて前記ノズルと吐出先部材とをこれら両者の対向方向に直交する方向に相対移動させる静電吸引型流体吐出装置において、前記ノズルの孔径は  $\phi 0.01 \mu\text{m} \sim \phi 25 \mu\text{m}$  であり、前記駆動電圧印加手段は、前記駆動電圧として、正負両極性に反転し、周波数が fHz である両極性パルス電圧を出力するものであり、前記駆動電圧印加手段の駆動電圧周波数 fHz と前記相対移動における相対速度  $v \mu\text{m}/\text{sec}$  との関係が、 $f \geq 5v$  となるように、前記駆動電圧出力手段と前記移動手段との少なくとも一方を制御する制御手段をさらに備えていることを特徴としている。
- [0029] また、本発明の静電吸引型流体吐出方法は、ノズルと吐出先部材、例えば絶縁性基板との間に駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させるとともに、前記ノズルと吐出先部材とをこれら両者の対向方向に直交する方向に相対移動させる静電吸引型流体吐出方法において、前記ノズルの孔径は  $\phi 0.01 \mu\text{m} \sim \phi 25 \mu\text{m}$  であり、前記駆動電圧として、正負両極性に反転し、周波数が fHz である両極性パルス電圧を出力し、前記駆動電圧周波数 fHz と前記相対移動における相対速度  $v \mu\text{m}/\text{sec}$  との関係が、 $f \geq 5v$  となるように駆動電圧周波数と相対移動速度との少なくとも一方を制御することを特徴としている。
- [0030] 従来、静電吸引型流体吐出装置において、ノズル孔径の縮小は吐出に必要な電界強度の増加を招来するため、ノズル孔径の微細化と駆動電圧の低電圧化は両立し得ないと考えられていた。これに対し、本願発明では、ノズル孔径を  $\phi 0.01 \mu\text{m} \sim$

$\phi 25 \mu\text{m}$ の微細径とした場合に局所電界が発生し、吐出における駆動電圧の低下が可能になるという新たな知見に基づき、ノズル孔径を上記範囲内とすることにより、ノズル孔径の微細化と駆動電圧の低電圧化の両立を実現している。

- [0031] また、ノズルに印加する駆動電圧として、正負両極性に反転し、周波数がkHzである両極性パルス電圧を出力し、ノズルと吐出先部材との相対移動における相対速度  $v \mu\text{m}/\text{sec}$  と駆動電圧周波数kHzとの関係が、 $f \geq 5v$  となるように駆動電圧周波数と相対移動速度との少なくとも一方を制御するので、吐出先部材上における液滴の飛散を抑制して、鮮明な微細パターンを形成することが可能となる。
- [0032] 本発明の静電吸引型流体吐出装置は、ノズルと吐出先部材、例えば絶縁性基板との間に駆動電圧印加手段から駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させるとともに、移動手段にて前記ノズルと吐出先部材とをこれら両者の対向方向に直交する方向に相対移動させる静電吸引型流体吐出装置において、前記ノズルの孔径は  $\phi 0.01 \mu\text{m} \sim \phi 25 \mu\text{m}$  であり、前記駆動電圧印加手段は、前記駆動電圧として、正負両極性に反転する両極性パルス電圧であり、400V以下の電圧を出力することを特徴としている。
- [0033] また、本発明の静電吸引型流体吐出方法は、ノズルと吐出先部材、絶縁性基板との間に駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させる静電吸引型流体吐出方法において、前記ノズルの孔径は  $\phi 0.01 \mu\text{m} \sim \phi 25 \mu\text{m}$  であり、前記駆動電圧は、正負両極性に反転する両極性パルス電圧であり、400V以下の電圧であることを特徴としている。
- [0034] 従来、静電吸引型流体吐出装置において、ノズル孔径の縮小は吐出に必要な電界強度の増加を招来するため、ノズル孔径の微細化と駆動電圧の低電圧化は両立し得ないと考えられていた。これに対し、本願発明では、ノズル孔径を  $\phi 0.01 \mu\text{m} \sim \phi 25 \mu\text{m}$  の微細径とした場合に局所電界が発生し、吐出における駆動電圧の低下が可能になるという新たな知見に基づき、ノズル孔径を上記範囲内とすることにより、ノズル孔径の微細化と駆動電圧の低電圧化の両立を実現している。
- [0035] また、ノズルに印加する駆動電圧は、正負両極性に反転する両極性パルス電圧であり、400V以下の電圧であるので、吐出先部材上に流体を吐出してドット形成する

場合、そのドット周辺部への液滴の飛散を抑制し、鮮明な微細パターンを形成することができる。

[0036] また、本発明の静電吸引型流体吐出装置は、電圧印加により帯電された吐出流体を、流体吐出ヘッドのノズルの流体噴出孔から静電吸引によって吐出させ基板に着弾させることによって、該基板表面に吐出流体による描画パターンを形成する静電吸引型流体吐出装置において、上記ノズルの流体噴出孔は、そのノズル径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、上記基板が絶縁性基板であり、該絶縁性基板への流体吐出前に、該絶縁性基板表面の電荷を除電する除電手段と、除電された絶縁性基板に対して、正負両極性のパルス電圧にて流体吐出を行う流体吐出手段とを備えていることを特徴としている。

[0037] 上記の構成によれば、ノズルの流体噴出孔径(ノズル径)を $0.01\sim 25\mu\text{m}$ の微細径とすることで局所電界が発生し、微細ノズル化により吐出における駆動電圧の低下が可能となる。このような駆動電圧の低下は、装置の小型化およびノズルの高密度化において極めて有利となる。もちろん、駆動電圧を低下させることで、コストメリットの高い低電圧駆動ドライバの使用をも可能にする。

[0038] さらに、上記吐出モデルでは、吐出に必要な電界強度は、局所的な集中電界強度に依存することになるため、対向電極の存在が必須とならない。すなわち、対向電極を要せずに絶縁性基板などに対しても印字を行うことが可能となり、装置構成の自由度が増す。また、厚い絶縁体に対しても印字を行うことが可能となる。

[0039] また、上述のような微細ノズル化は、絶縁基板上に付着した電荷が存在する場合、その電荷の電界反発力を受けて、吐出形成した微細パターンに乱れが生じたり、逆に吐出不良が発生したりと安定した微細パターンを形成するのが困難となるといった問題がある。

[0040] これに対し、上記静電吸引型流体吐出装置では、絶縁性基板への流体吐出前に、除電手段によって絶縁性基板表面の電荷が除電され、さらに、除電された後の絶縁性基板に対しては、流体吐出手段が正負両極性のパルス電圧にて流体吐出を行う。このため、絶縁性基板のチャージアップを抑制しながら安定した吐出を行うことができる。



- [0041] また、上記静電吸引型流体吐出装置では、上記除電手段は、所定のパターンにて絶縁性基板の除電を行う構成とすることができる。
- [0042] 上記の構成によれば、上記除電手段は、所望のパターニングデータに対応して絶縁性基板の必要な箇所のみを除電することができる。このため、上記除電手段は絶縁性基板全体を除電する必要がなく、例えば針状の除電ヘッドのような高電圧を必要としない除電手段を使用できるため、該除電手段に対しコストメリットの高い低電圧ドライバによる制御を行うことができる。また、絶縁性基板上の必要部分だけに除電が施されるため、除電に費やす時間が短くてすむ。
- [0043] また、上記静電吸引型流体吐出装置では、上記流体吐出手段は、流体吐出時におけるメニスカス部への電荷集中によって生じる電界強度が、Paschen Curveの算出式によって求められる放電開始電界強度よりも小さくなるような印加電圧にて流体吐出を行う構成とすることが好ましい。
- [0044] 上記の構成によれば、上記流体吐出手段における流体吐出時に、気中放電が生じることを抑制でき、放電による周辺部への流体微細液滴の飛散が無い、鮮明な微細パターン像を形成することが可能となる。
- [0045] また、本発明の静電吸引型流体吐出装置は、電圧印加により帯電された吐出流体を、ノズルの流体噴出孔から静電吸引によって吐出させ基板に着弾させることによって、該基板表面に吐出流体による描画パターンを形成する静電吸引型流体吐出装置において、上記ノズルの流体噴出孔は、そのノズル径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、上記基板が絶縁性基板であり、該絶縁性基板の表面に所定のパターンにて電荷を付与する電荷付与手段を備えていることを特徴としている。
- [0046] 上記の構成によれば、ノズルの流体噴出孔径(ノズル径)を $0.01\sim 25\mu\text{m}$ の微細径とすることで局所電界が発生し、微細ノズル化により吐出における駆動電圧の低下が可能となる。このような駆動電圧の低下は、装置の小型化およびノズルの高密度化において極めて有利となる。もちろん、駆動電圧を低下させることで、コストメリットの高い低電圧駆動ドライバの使用をも可能にする。
- [0047] さらに、上記吐出モデルでは、吐出に必要な電界強度は、局所的な集中電界強度に依存することになるため、対向電極の存在が必須とならない。すなわち、対向電極

を要せずに絶縁性基板などに対しても印字を行うことが可能となり、装置構成の自由度が増す。また、厚い絶縁体に対しても印字を行うことが可能となる。

- [0048] また、上述のような微細ノズル化は、絶縁基板上に付着した電荷が存在する場合、その電荷の電界反発力を受けて、吐出形成した微細パターンに乱れが生じたり、逆に吐出不良が発生したりと安定した微細パターンを形成するのが困難となるといった問題がある。
- [0049] これに対し、上記電荷付与手段は、吐出流体によるパターン描画前に、該絶縁性基板の表面に所定のパターンにて電荷を付与することができ、この電荷パターンによって、微細ノズルから吐出される流体によって描画されるパターンの乱れや、吐出不良を防止し、安定した微細パターンを形成することができる。
- [0050] 例えば、上記電荷付与手段によって付与される電荷の極性を駆動電圧極性とは逆極性とし、パターンングデータに基づいた所望の付与電荷パターンを形成する。そして、この付与電荷パターンの真上から流体吐出を行うことにより、付与電荷による引き込み電界力が作用して、より鮮明な微細パターンを形成することができる。
- [0051]あるいは、上記電荷付与手段によって付与される電荷の極性を駆動電圧極性とは同極性とし、所望のパターンの周辺を囲むような付与電荷パターンを絶縁性基板上に形成する。そして、この付与電荷パターンで囲まれた所望のパターン部分の真上から流体吐出を行うことにより、吐出された流体は絶縁性基板上に着弾する直前で、付与電荷による反発電界力を横方向に受け、所望パターン部分に集中する方向に液滴が着弾することで、その微細パターンをより鮮明に形成することができる。
- [0052] また、上記静電吸引型流体吐出装置では、上記電荷付与手段は、感光性材料からなる絶縁性基板に対して電荷を付与するものであり、上記絶縁性基板の表面を一樣に帯電させる一樣帯電手段と、一樣帯電された上記絶縁性基板の表面に所定のパターンにてレーザ照射を行い、レーザ照射された箇所の除電を行う除電手段とを備えている構成とすることができる。
- [0053] 上記の構成によれば、上記付与電荷パターンを形成するにあたって、特に該付与電荷パターンの極性を駆動電圧極性と同極性とする場合(すなわち、付与電荷パターンで囲まれた所望のパターンを描画パターン領域とする場合)、レーザ照射によ

て形成される描画パターン領域は、レーザスポット径は最小で $5\mu\text{m}$ 程度まで絞ることができるため、例えば針電極等による電荷付与方式に比べて精度の高いパターン形成が可能となる。

[0054] また、本発明の他の静電吸引型流体吐出装置は、電圧印加により帯電された吐出流体を、ノズルの流体噴出孔から静電吸引によって吐出させ基板に着弾させることによって、該基板表面に吐出流体による描画パターンを形成する静電吸引型流体吐出装置において、上記ノズルの流体噴出孔は、そのノズル径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、上記基板が絶縁性基板であり、導電材がパターンニングされた該絶縁性基板に対して接触配置可能であり、流体吐出時に該絶縁性基板上の導電部に電圧を印加する電圧印加手段を備えていることを特徴としている。

[0055] 上記の構成によれば、絶縁性基板上に既にパターンニングされている導電パターンがある場合、該導電パターンとなる導電部に対し電圧印加手段を接触配置させ、導電部に電圧を印加しながら流体吐出を行うことができる。これにより、導電パターン上への吐出の集中度が大きくなり、特に、導電パターンのライン上への重ね塗りや、導電パターンのライン同士の連結を行う際に有効となる。

[0056] また、本発明の描画パターン形成方法は、電圧印加により帯電された吐出流体を、ノズルの流体噴出孔から静電吸引によって吐出させ絶縁性基板に着弾させることによって、該絶縁性基板表面に吐出流体による描画パターンを形成する静電吸引型流体吐出装置による描画パターン形成方法において、上記ノズルの流体噴出孔は、そのノズル径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、上記基板が絶縁性基板であり、該絶縁性基板に対し、吐出流体の吐出前に、描画パターンを形成すべき箇所に、予め吐出流体を帯電させるための駆動電圧極性とは逆極性の電荷を付与することで電荷パターンを形成し、上記電荷パターンの上に流体吐出を行うことによって吐出流体による描画パターンを形成することを特徴としている。

[0057] 上記の構成によれば、吐出流体の吐出前に、駆動電圧極性とは逆極性の電荷により、描画パターンと同一の箇所に電荷パターンを形成する。そして、この電荷パターンの真上から流体吐出を行うことにより、付与電荷による引き込み電界力が作用して、より鮮明な微細パターンを形成することができる。

- [0058] また、本発明の他の描画パターン形成方法は、電圧印加により帯電された吐出流体を、ノズルの流体噴出孔から静電吸引によって吐出させ絶縁性基板に着弾させることによって、該絶縁性基板表面に吐出流体による描画パターンを形成する静電吸引型流体吐出装置による描画パターン形成方法において、上記ノズルの流体噴出孔は、そのノズル径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、上記基板が絶縁性基板であり、該絶縁性基板に対し、吐出流体の吐出前に、描画パターンを形成すべき箇所の周囲に、予め吐出流体を帯電させるための駆動電圧極性とは同極性の電荷を付与することで電荷パターンを形成し、上記電荷パターンにて囲まれた描画パターン形成領域上に流体吐出を行うことによって吐出流体による描画パターンを形成することを特徴としている。
- [0059] 上記の構成によれば、吐出流体の吐出前に、駆動電圧極性とは同極性の電荷により所望の描画パターンの周辺を囲むような電荷パターンを形成する。そして、この電荷パターンで囲まれた所望の描画パターン部分の真上から流体吐出を行うことにより、描画パターン部分に集中する方向に液滴が着弾し、その微細パターンをより鮮明に形成することができる。
- [0060] また、上記描画パターン形成方法では、感光性材料からなる絶縁性基板を用い、上記電荷パターンは、上記絶縁性基板の表面を一様に帯電させた後、一様帯電された絶縁性基板の表面に所定のパターンにてレーザ照射を行い、レーザ照射された箇所の除電を行うことによって形成される構成とすることができる。
- [0061] 上記の構成によれば、電荷パターンを形成するにあたって、特に該付与電荷パターンの極性を駆動電圧極性と同極性とする場合（すなわち、付与電荷パターンで囲まれた所望のパターンを描画パターン領域とする場合）、レーザ照射によって形成される描画パターン領域は、レーザスポット径は最小で $5\mu\text{m}$ 程度まで絞ることができるため、例えば針電極等による電荷付与方式に比べて精度の高いパターン形成が可能となる。
- [0062] また、本発明のさらに他の描画パターン形成方法は、電圧印加により帯電された吐出流体を、ノズルの流体噴出孔から静電吸引によって吐出させ絶縁性基板に着弾させることによって、該絶縁性基板表面に吐出流体による描画パターンを形成する静

電吸引型流体吐出装置による描画パターン形成方法において、上記ノズルの流体噴出孔は、そのノズル径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、上記基板が絶縁性基板であり、該絶縁性基板に対し、吐出流体の吐出前に、描画パターンを形成しない非描画領域に、予め吐出流体を帯電させるための駆動電圧極性とは同極性の電荷を付与することで電荷パターンを形成し、上記流体吐出への電圧印加を上記非描画領域の上でも停止することなく描画パターンを形成することを特徴としている。

[0063] 上記の構成によれば、上記非描画領域に形成される電荷パターンは、連続した流体吐出によって形成される描画パターンが、一旦途切れるような箇所において形成される。このように、絶縁性基板上に予め非描画領域に対応した電荷パターンを流体吐出電圧と同極性で与えることにより、流体吐出の停止を行うことなしに非描画領域を的確に形成することができる。

[0064] また、本発明のさらに他の描画パターン形成方法は、電圧印加により帯電された吐出流体を、ノズルの流体噴出孔から静電吸引によって吐出させ絶縁性基板に着弾させることによって、該絶縁性基板表面に吐出流体による描画パターンを形成する静電吸引型流体吐出装置による描画パターン形成方法において、上記ノズルの流体噴出孔は、そのノズル径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、上記基板が絶縁性基板であり、該絶縁性基板の導電材による第1の描画パターンがすでに形成されている状態で、第1の描画パターンの上からさらに第2の描画パターンを形成する際、第1の描画パターンを形成する導電部に電圧を印加しながら第2の描画パターンを形成することを特徴としている。

[0065] 上記の構成によれば、絶縁性基板上に既にパターンニングされている第1の描画パターンがある場合、該第1の描画パターンとなる導電部に対し電圧を印加しながら流体吐出を行うことができ、第1の描画パターン上への吐出の集中度が大きくなる。これにより、特に、第1の描画パターンにおけるライン上への重ね塗りや、ライン同士の連結を行う際に有効となる。

[0066] 本発明のさらに他の目的、特徴、および優れた点は、以下に示す記載によって十分に理解されるであろう。また、本発明の利益は、添付図面を参照した次の説明で明白になるであろう。

## 図面の簡単な説明

[0067] [図1]本発明の実施の一形態における静電吸引型流体吐出装置の概略構成図である。

[図2]本発明の基本となる吐出モデルにおいて、ノズルの電界強度の計算を説明するための図である。

[図3]表面張力圧力および静電的圧力のノズル径依存性のモデル計算結果を示すグラフである。

[図4]吐出圧力のノズル径依存性のモデル計算結果を示すグラフである。

[図5]吐出限界電圧のノズル径依存性のモデル計算結果を示すグラフである。

[図6]本発明の前提技術における、荷電液滴と基板との間に働く鏡像力とノズルー基板間距離との相関を示したグラフである。

[図7]本発明の前提技術における、ノズルから流出する流量と印加電圧との相関関係のモデル計算結果を示したグラフである。

[図8]吐出開始電圧のノズル径依存性を実験的に求めた結果を示すグラフである。

[図9]ノズルの駆動電圧として両極性パルス電圧を使用しての描画パターン形成時に、描画パターンの周辺に微小な液滴の飛散りが発生した状態を示す説明図である。

[図10(a)]ノズルの駆動電圧としての周波数の低いパルス電圧の一例を示す波形図である。

[図10(b)]絶縁性基板上において液滴の飛散りが発生する原理の説明図である。

[図11]図1に示した電源から出力される駆動電圧の一例を示す波形図である。

[図12]図1に示した静電吸引型流体吐出装置におけるノズルの駆動電圧周波数と吐出最低電圧との関係を示すグラフである。

[図13]図1に示した静電吸引型流体吐出装置でのライン描画時におけるノズルの駆動電圧周波数と絶縁性基板上での液滴飛散領域幅との関係を示すグラフである。

[図14(a)]本発明の実施の他の形態の静電吸引型流体吐出装置におけるノズルの駆動電極に印加される駆動電圧としての両極性パルス電圧の波形とノズル先端における吐出材料の表面電位との関係を示す波形図であって、ノズルから吐出材料の吐出が起きない場合を示すものである

[図14(b)]本発明の実施の他の形態の静電吸引型流体吐出装置におけるノズルの駆動電極に印加される駆動電圧としての両極性パルス電圧の波形とノズル先端における吐出材料の表面電位との関係を示す波形図であって、ノズルから吐出材料の吐出が起こる場合を示すものである。

[図15]図1に示した静電吸引型流体吐出装置のノズルにおいて駆動電極から供給される電荷がノズル先端のメニスカスに蓄積される動作の説明図である。

[図16]図14(b)に示した駆動電圧を使用した場合のノズルからの吐出材料の吐出および不吐出の様子を示す説明図である。

[図17]図1に示した静電吸引型流体吐出装置における駆動電圧周波数と吐出最低電圧との関係を示すグラフである。

[図18]図1に示した静電吸引型流体吐出装置における駆動電圧周波数と絶縁性基板上での液滴の飛散領域幅との関係を示すグラフである。

[図19]図1に示した静電吸引型流体吐出装置において、吐出材料として染色インクおよび銀ナノペーストを使用した場合の駆動電圧周波数と吐出最低電圧との関係を広い周波数範囲で示しグラフである。

[図20]本発明の実施のさらに他の形態の静電吸引型流体吐出装置の概略構成である。

[図21]本発明の実施のさらに他の形態の静電吸引型流体吐出装置におけるステージの走査速度と絶縁性基板上での液滴の飛散領域幅との関係を示すグラフである。

[図22]本発明の実施のさらに他の形態の静電吸引型流体吐出装置におけるノズルの駆動電極に印加する駆動電圧と絶縁性基板上における液滴の飛散領域との関係を示すグラフである。

[図23]実施の形態5に係る静電吸引型流体吐出装置の概略構成を示す斜視図である。

[図24]実施の形態6に係る静電吸引型流体吐出装置の概略構成を示す斜視図である。

[図25]静電吸引型流体吐出装置におけるノズル先端部のノズル径とメニスカス部での電荷集中によって生じる電界強度との関係を示すグラフである。

[図26]実施の形態8に係る静電吸引型流体吐出装置の概略構成を示す斜視図である。

[図27]付着電荷の表面電位と流体吐出における駆動最低電圧との関係を示すグラフである。

[図28]実施の形態9に係る静電吸引型流体吐出装置の概略構成を示す斜視図である。

[図29]実施の形態10に係る静電吸引型流体吐出装置の概略構成を示す斜視図である。

[図30]本発明の実施の形態11に係る静電吸引型流体吐出装置の概略構成を示す斜視図である。

[図31]実施の形態12に係る静電吸引型流体吐出装置の概略構成を示す斜視図である。

[図32]静電吸引型流体吐出装置における静電曳き糸現象による吐出流体の成長原理を示す図である。

### 発明を実施するための最良の形態

#### [0068] 〔前提技術〕

先ず、本発明の前提技術について、図面を参照して以下に説明する。本発明の前提技術に係る静電吸引型流体吐出装置は、そのノズル径を $0.01\mu\text{m}$ 〜 $25\mu\text{m}$ としており、かつ、 $1000\text{V}$ 以下の駆動電圧にて吐出流体の吐出制御を可能としている。

[0069] ここで、従来のインク吐出モデルにおいては、ノズル径の減少は駆動電圧の上昇に繋がるため、 $50$ 〜 $70\mu\text{m}$ 以下のノズル径では、吐出インクに背圧を与えるなどの他の工夫を行わない限り、 $1000\text{V}$ 以下の駆動電圧でのインク吐出は不可能と考えられていた。しかしながら、本願発明者らは鋭意検討の結果、あるノズル径以下では、従来のインク吐出モデルとは異なる吐出モデルでの吐出現象が起こることを突き止めた。本前提技術は、このインク吐出モデルにおける新たな知見に基づいている。

[0070] 先ずは、本願の前提技術において究明されたインク吐出モデルについて説明する。

[0071] 直径 $d$ (以下の説明においては、特に断らない限りノズル孔の内径を指す)のノズル



に導電性インクを注入し、無限平板導体から $h$ の高さに垂直に位置させたと仮定する。この様子を図2に示す。このとき、ノズル先端(ノズル孔:流体吐出孔)に誘起される電荷 $Q$ は、ノズル先端の吐出流体によって形成される半球部に集中すると仮定し、以下の式で近似的に表される。

$$Q = 2\pi\epsilon_0\alpha V_0 d \quad \dots (5)$$

[0072] ここで、 $Q$ :ノズルの先端部に誘起される電荷(C)、 $\epsilon_0$ :真空の誘電率(F/m)、 $d$ :ノズルの直径(m)、 $V_0$ :ノズルに印加する総電圧である。また、 $\alpha$ は、ノズル形状などに依存する比例定数であり、1〜1.5程度の値を取るが、特に $D \ll h$ ( $h$ :ノズル—基板間距離(m))の時はほぼ1となる。

[0073] また、基板として導電基板を用いた場合、ノズルと対向して基板内の対称位置に、上記電荷 $Q$ と反対の極性を持つ鏡像電荷 $Q'$ が誘導されると考えられる。基板が絶縁体の場合は、誘電率によって定まる対称位置に同様に電荷 $Q$ と逆極性の映像電荷 $Q'$ が誘導される。

[0074] ノズル先端部における集中電界強度 $E_{loc}$ は、先端部の曲率半径を $R$ と仮定すると、

$$E_{loc} = \frac{V_0}{kR} \quad \dots (6)$$

で与えられる。ここで、 $k$ は、ノズル形状などに依存する比例定数であり、1.5〜8.5程度の値を取るが、多くの場合5程度と考えられる(P.J. Birdseye and D.A. Smith, Surface Science, 23(1970), p.198-210)。また、ここでは、インク吐出モデルを簡単にするため、 $R = d/2$ と仮定する。これは、ノズル先端部において表面張力によって導電性インクがノズル径 $d$ と同じ曲率径を持つ半球形状に盛り上がっている状態に相当する。

[0075] 次に、ノズル先端の吐出流体に働く圧力のバランスを考える。まず、静電的な圧力 $P_e$ は、ノズル先端部の液面積を $S$ とすると、

$$P_e = \frac{Q}{S} E_{loc} = \frac{2Q}{\pi d^2} E_{loc} \quad \dots (7)$$

となる。(5)～(7)式より、圧力 $P_e$ は、 $\alpha = 1$ とにおいて、

$$P_e = \frac{4\epsilon_0 V_0}{d} \cdot \frac{2V_0}{kd} = \frac{8\epsilon_0 V_0^2}{kd^2} \quad \dots(8)$$

と表される。

[0076] 一方、ノズル先端部における吐出流体の表面張力による圧力 $P_s$ とすると、

$$P_s = \frac{4\gamma}{d} \quad \dots(9)$$

となる。ここで、 $\gamma$ :表面張力である。静電的な力により吐出が起こる条件は、静電的な力が表面張力を上回ることなので、静電的な圧力 $P_e$ と表面張力による圧力 $P_s$ との関係は、

$$P_e > P_s \quad \dots(10)$$

となる。

[0077] 図3に、ある直径 $d$ のノズルを与えた時の、表面張力による圧力 $P_s$ と静電的な圧力 $P_e$ との関係を示す。吐出流体の表面張力としては、吐出流体が水( $\gamma = 72\text{mN/m}$ )の場合を仮定している。ノズルに印加する電圧を700Vとした場合、ノズル直径 $d$ が $25\mu\text{m}$ において静電的な圧力 $P_e$ が表面張力による圧力 $P_s$ を上回ることが示唆される。このことより、 $V_0$ と $d$ との関係を求めると、

$$V_0 > \sqrt{\frac{\gamma kd}{2\epsilon_0}} \quad \dots(11)$$

が吐出の最低電圧を与える。

[0078] また、その時の吐出圧力 $\Delta P$ は、

$$\Delta P = P_e - P_s \quad \dots(12)$$

より、

$$\Delta P = \frac{8\varepsilon_0 V_0^2}{kd^2} - \frac{4\gamma}{d} \quad \dots (13)$$

となる。

- [0079] ある直径dのノズルに対し、局所的な電界強度によって吐出条件を満たす場合の吐出圧力 $\Delta P$ の依存性を図4に、吐出臨界電圧(すなわち吐出の生じる最低電圧) $V_c$ の依存性を図5に示す。
- [0080] 図4から、局所的な電界強度によって吐出条件を満たす場合( $V_0 = 700V$ ,  $\gamma = 72mN/m$ と仮定した場合)のノズル径の上限が $25\mu m$ であることが分かる。
- [0081] 図5の計算では、吐出流体として水( $\gamma = 72mN/m$ )および有機溶剤( $\gamma = 20mN/m$ )を想定し、 $k=5$ の条件を仮定した。この図より、微細ノズルによる電界の集中効果を考慮すると、吐出臨界電圧 $V_c$ はノズル径の減少に伴い低下することが明らかであり、吐出流体が水の場合においてノズル径が $25\mu m$ の場合、吐出臨界電圧 $V_c$ は $700V$ 程度であることが分かる。
- [0082] 従来の吐出モデルにおける電界の考え方、すなわちノズルに印加する電圧 $V_0$ とノズル-対向電極間距離 $h$ とによって定義される電界のみを考慮した場合では、ノズル径が微小になるに従い、吐出に必要な駆動電圧は増加する。
- [0083] これに対し、本前提技術において提案する新たな吐出モデルのように、局所電界強度に注目すれば、微細ノズル化により吐出における駆動電圧の低下が可能となる。このような駆動電圧の低下は、装置の小型化およびノズルの高密度化において極めて有利となる。もちろん、駆動電圧を低下させることで、コストメリットの高い低電圧駆動ドライバの使用をも可能にする。
- [0084] さらに、上記吐出モデルでは、吐出に必要な電界強度は、局所的な集中電界強度に依存することになるため、対向電極の存在が必須とならない。すなわち、従来の吐出モデルでは、ノズル-基板間に電界を印加するため、絶縁体の基板に対してはノズルと反対側に対向電極を配置するか、あるいは基板を導電性とする必要があった。そして、対向電極を配置する場合、すなわち基板が絶縁体の場合では、使用できる基板の厚さに限界があった。
- [0085] これに対し、本前提技術の吐出モデルでは、対向電極を要せずに絶縁性基板など

に対しても印字を行うことが可能となり、装置構成の自由度が増す。また、厚い絶縁体に対しても印字を行うことが可能となる。なお、ノズルから吐出される液体は帯電しているため、この液体と基板との間には鏡像力が働く。この鏡像力の大きさと基板からのノズルの距離 $h$ との相関を図6に示す。

- [0086] 次に、上記吐出流量の精密制御について考えて見る。円筒状の流路における流量 $Q$ は、粘性流の場合、以下のハーゲン・ポアズイユの式によって表される。いま、円筒形のノズルを仮定し、このノズルを流れる流体の流量 $Q$ は、次式で表される。

$$Q = \frac{\pi \Delta P}{\eta L} d^4 \quad \dots (14)$$

- [0087] ここで、 $\eta$  : 流体の粘性係数 (Pa・s)、 $L$  : 流路すなわちノズルの長さ (m)、 $d$  : 流路すなわちノズルの径 (m)、 $\Delta P$  : 圧力差 (Pa) である。上式より、流量 $Q$ は、流路の半径の4乗に比例するため、流量を制限するためには、微細なノズルの採用が効果的である。この(14)式に、(13)式で求めた吐出圧力 $\Delta P$ を代入し、次式を得る。

$$Q = \frac{4\pi d^3}{\eta L} \left( \frac{2\varepsilon_0 V_0^2}{kd} - \gamma \right) \quad \dots (15)$$

- [0088] この式は、直径 $d$ 、長さ $L$ のノズルに電圧 $V$ を印加した際に、ノズルから流出する流体の流出量を表している。この様子を、図7に示す。計算には $L = 10\text{mm}$ 、 $\eta = 1\text{ (mPa}\cdot\text{s)}$ 、 $\gamma = 72\text{ (mN/m)}$ の値を用いた。いま、ノズル径を先行技術の最小値 $50\text{ }\mu\text{m}$ と仮定する。電圧 $V$ を徐々に印加していくと、電圧 $V = 1000\text{V}$ で吐出が開始する。この電圧は、図5でも述べた吐出開始電圧に相当する。そのときのノズルからの流量がY軸に示されている。吐出開始電圧 $V_c$ 直上で流量は急速に立ち上がっている。このモデル計算上では、電圧を $V_c$ より少し上で精密に制御することで微小流量が得られそうに思えるが、片対数で示される図からも予想されるように実際上それは不可能で、特に $10^{-10}\text{ m}^3/\text{s}$ 以下、微量の実現は困難である。また、ある径のノズルを採用した場合には、(11)式で与えられたように、最小駆動電圧が決まってしまう。このため、先行技術のように、直径 $50\text{ }\mu\text{m}$ 以上のノズルを用いる限り、 $10^{-10}\text{ m}^3/\text{s}$ 以下の微小吐出量や、 $1000\text{V}$ 以下の駆動電圧にすることは困難である。

[0089] 図から分かるように、直径25  $\mu\text{m}$  のノズルの場合700V以下の駆動電圧で充分であり、直径10  $\mu\text{m}$  のノズルの場合500V以下でも制御可能である。また、直径1  $\mu\text{m}$  のノズルの場合300V以下でも良いことが分かる。

[0090] 以上の考察は、連続流を考えた場合であるが、ドットを形成するためには、スイッチングの必要性がある。次にそれに関して述べる。

[0091] 静電吸引による吐出は、ノズル端部における流体の帯電が基本である。帯電の速度は誘電緩和によって決まる時定数程度と考えられる。

$$\tau = \frac{\varepsilon}{\sigma} \quad \dots (16)$$

[0092] ここで、 $\varepsilon$  : 流体の比誘電率、 $\sigma$  : 流体の導電率(S/m)である。流体の比誘電率を10、導電率を $10^{-6}\text{S/m}$ を仮定すると、 $\tau = 1.854 \times 10^{-5}\text{sec}$ となる。あるいは、臨界周波数を $f_c$ とすると、

$$f_c = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \dots (17)$$

となる。この $f_c$ よりも早い周波数の電界の変化に対しては、応答できず吐出は不可能になると考えられる。上記の例について見積もると、周波数としては10kHz程度となる。

[0093] 次に、ノズル内における表面張力の低下について考える。電極の上に絶縁体を配置し、その上に滴下した液体と電極の間に電圧を印加すると液体と絶縁体の接触面積が増す、すなわちぬれ性がよくなるが見いだされ、エレクトロウェッティング(Electrowetting)現象と呼ばれている。この効果は、円筒形のキャピラリー形状においても成り立ち、エレクトロキャピラリー(Electrocapillary)と呼ばれることもある。エレクトロウェッティング効果による圧力と、印加電圧、キャピラリーの形状、溶液の物性値との間に以下の関係がある。

$$P_{ec} = \frac{2\varepsilon_0\varepsilon_r}{t} \frac{V_0^2}{d} \quad \dots (18)$$

ここで、 $\varepsilon_0$  : 真空の誘電率、 $\varepsilon_r$  : 絶縁体の誘電率、 $t$  : 絶縁体の厚さ、 $d$  : キャピラリー

の内径である。流体として、水を考えてこの値を計算してみると、上述の特許文献1の実施例の場合を計算してみると、高々30000Pa(0.3気圧)にすぎないが、本前提技術の場合、ノズルの外側に電極を設けることにより30気圧相当の効果が得られることがわかった。これにより、微細ノズルを用いた場合でもノズル先端部への流体の供給は、この効果により速やかに行われる。この効果は、絶縁体の誘電率が高いほど、またその厚さが薄いほど顕著になる。エレクトロキャピラリー効果を得るためには、厳密には絶縁体を介して電極を設置する必要があるが、十分な絶縁体に十分な電場がかかる場合、同様の効果が得られる。

[0094] 以上の議論において、注意すべき点は、これらの近似理論は従来のように電界強度として、ノズルに印加する電圧 $V_0$ と、ノズルと対向電極間の距離 $h$ とで決まる電界ではなく、ノズル先端における局所的な集中電界強度に基づいている。また、本前提技術において重要なのは、局所的な強電界と、流体を供給する流路が非常に小さなコンダクタンスを持つことである。そして、流体自身が微小面積において十分に帯電することである。帯電した微小流体は、基板などの誘電体、または導体を近づけると、鏡像力が働き基板に対し直角に飛翔する。このために、実施例ではノズルは作成の容易さからガラスキャピラリーを使っているが、これに限定されるものではない。

[0095] 以上のように、本実施の形態に係る静電吸引型流体吐出装置では、局所電界強度に着目して新たに提案された吐出モデルに基づいているため、ノズル径 $0.01\mu\text{m}$ 〜 $25\mu\text{m}$ の微細ノズルとすることが可能であり、かつ、1000V以下の駆動電圧にて吐出流体の吐出制御を行うことができる。尚、上記モデルに基づいて考察を行った結果、直径 $25\mu\text{m}$ 以下のノズルの場合は700V以下の駆動電圧で、直径 $10\mu\text{m}$ 以下のノズルの場合は500V以下の駆動電圧で、直径 $1\mu\text{m}$ 以下のノズルの場合は300V以下の駆動電圧で吐出制御が可能である。

[0096] 図8に、吐出臨界電圧 $V_c$ のノズル径依存性を実験的に求めた結果を示す。ここでは、吐出流体として、ハリマ化成(株)製の銀ナノペーストを用い、ノズルー基板間距離 $100\mu\text{m}$ の条件で測定を行った。図8より、微細ノズルになるにしたがって、吐出臨界電圧 $V_c$ が低下し、従来より低電圧で吐出が可能となっていることが分かる。

[0097] 本実施の形態に係る静電吸引型流体吐出装置では、上述したように、ノズル径お

よび駆動電圧を共に小さくすることが可能であるが、この場合、従来の静電吸引型流体吐出装置に比べ、以下のような問題が顕著に発生する。

- [0098] 絶縁性基板上で静電吸引型流体吐出装置による流体吐出を行った場合、流体吐出の前工程で絶縁性基板上に付着した電荷が存在すると、その電荷の電界反発力を受けて、吐出形成した微細パターンに乱れが生じたり、逆に吐出不良が発生したりと安定した微細パターンを形成するのが困難となる。例えば、表面抵抗が $10^{15} \Omega / \text{sq}$ 程度のポリイミド、アクリル等の高分子材料上では、静電気は接触による摩擦等により簡単に発生するが、乾燥した環境下であると、表面抵抗が $10^{10} \Omega / \text{sq}$ 程度のガラス基板上でも容易に発生する。
- [0099] また、予め絶縁性基板上に付着電荷がない場合でも、絶縁性基板上に吐出し着弾した流体中には電荷が存在するため、DCバイアスや片側極性のパルス電圧のように駆動電圧として片側極性のバイアスを用いると、吐出した流体中の電荷によって絶縁性基板がチャージアップし、絶縁性基板上で表面電位が上昇する。すなわち、絶縁性基板上に吐出流体によるパターンを形成することで基板上に電荷の存在が生じ、この電荷の反発電界力を受けて吐出特性が低下する。
- [0100] 実際に、絶縁基板上に吐出流体によるパターンが形成され該基板がある程度帯電した状態では、以下の表1に示すように、表面抵抗値が $10^{15} \Omega / \text{sq}$ のポリイミド上での吐出最低電圧が、表面抵抗値が $10^{10} \Omega / \text{sq}$ のガラス或いは導電体のSUS基板よりも高くなっており、吐出特性が低下していることがわかる。尚、上記表1は、ノズル径が $1 \mu\text{m}$ の場合の結果を示している。

[0101] [表1]

基板の種類	吐出最低電圧
ポリイミド ( $10^{15} \Omega / \text{sq}$ )	330V
ガラス ( $10^{10} \Omega / \text{sq}$ )	148V
SUS	148V

本実施の形態に係る静電吸引型流体吐出装置は、絶縁性基板上での電荷付着による表面電位上昇を抑制することにより、微小流体吐出を常に安定して行うことを可能にし、より鮮明な微細パターン形成を可能とする。このような静電吸引型流体吐出装置について、以下の実施の形態について説明する。

[0102] 〔実施の形態1〕

静電吸引型流体吐出装置においては、前述の前提技術にて説明したように、ノズル孔の直径(ノズル径)を $\phi 0.01\sim 25\mu\text{m}$ の範囲とすることにより、ノズル孔径の微細化と駆動電圧の低電圧化との両立が可能である。

[0103] また、ノズルからの吐出材料となる液体の吐出量は、ノズルと吐出先部材との間の電位差やノズルと吐出先部材との間の距離、すなわちギャップによって制御することができる。基本的には、電位差が大きいほど、またギャップが小さいほど、ノズル先端の電界強度を大きくすることができるため、その吐出量を制御することが容易となる。

[0104] しかしながら、上記のような静電吸引型流体吐出方法には、上述したように基板のチャージアップの問題がある。すなわち、絶縁性の吐出先部材に対して液体の吐出を行った場合、DCバイアスや片側極性のパルス電圧など、+または-の片側極性のバイアスを駆動電圧としてノズルに印加した場合、吐出液体中の電荷によって吐出先部材がチャージアップし、その表面電位が上昇する。そして、この表面電位上昇の影響により、吐出駆動力となるノズル(ノズル内部の駆動電極)と吐出先部材との間の電位差が不安定となり吐出不良が発生する。

[0105] この結果、片側極性のバイアスを使用して安定吐出を行うためには、上記電位差を確保するために、ノズルの駆動電極にさらに高いバイアスを与える必要があり(吐出最低電圧が上昇し)、ノズルの低電圧駆動が困難となる。

[0106] そこで、このような吐出最低電圧の上昇を抑制するために、ノズルの駆動電圧として両極性パルス電圧を使用するのが好ましい。この場合には、以下の表2に示すように、DCバイアスを使用する場合と比較して、吐出最低電圧が低下することがわかる。これは、吐出先部材への着弾液滴の帯電電荷が正負交互となり、吐出先部材上へは順次逆極性の電荷が滴下されるため、吐出先部材でのチャージアップを抑制しながら吐出が行われることによる。このように、ノズルの駆動電圧として両極性パルス電圧



を使用することは、ノズルからの吐出安定性を高める上で有効である。

[0107] [表2]

電圧印加方法	吐出最低電圧
D C	3 3 0 V
両極性パルス電圧	1 6 3 V

ところが、ノズルの駆動電圧として両極性パルス電圧を使用した場合であっても、図9に示すように、吐出先部材への描画パターン形成時に、描画パターンの周辺に微小な液滴の飛散が発生し、描画パターンが乱れる事態を招来する。これは次の理由による。

[0108] 例えば、図30(a)に示すように、ノズルの駆動電圧として周波数の低いパルス電圧を使用し、このパルス電圧の正極性パルスにてノズルからの吐出が行われる構成の場合、吐出先部材である絶縁性基板16上には正電荷を有する液体が連続的に吐出される。このとき、図30(b)に示すように、先に滴下されている液体上に後から液体が滴下されると、両液体は同極性に帯電しているために絶縁性基板16上において反発し合い、例えば後から滴下された液体がさらに微細な液滴となって絶縁性基板16上に飛び散ることになる。

[0109] 上記のような微細液滴の飛散りは、例えば、吐出材料を導電性材料として絶縁性基板16上に配線パターンを描画した場合に、基板の電気特性に悪影響を及ぼすことになる。

[0110] そこで、本発明の静電吸引型流体吐出装置では、さらに、ノズルの駆動電圧として両極性パルス電圧を使用する構成において、吐出先部材上における吐出材料の飛散りを抑制して、描画像の乱れの少ない鮮明な微細パターンを形成できるようにする。

[0111] 以下、本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置について詳細に説明する。

- [0112] 図1は本実施の形態における静電吸引型流体吐出装置の概略構成図である。図1に示すように、静電吸引型流体吐出装置では、液滴吐出ヘッドとなるノズル11とステージ12とが対向配置されている。すなわち、ノズル11は先端部が下方を向くように配置され、ノズル11の下方にステージ12が水平に設けられている。ノズル11は図示しない駆動装置に駆動されて任意の方向へ移動可能となっている。例えば、ノズル11はノズル11を独立して移動させるための3次元ロボットに備え付けられている。なお、ノズル11とステージ12とは相対移動すればよく、したがってステージ12が駆動装置に駆動されて移動するものであってもよい。
- [0113] ノズル11内には駆動電極13が設けられ、この駆動電極13には電源（駆動電圧印加手段）14が接続されている。また、ノズル11内には液体からなる吐出材料（流体）15が充填され、ステージ12上には吐出材料15の吐出先である絶縁性基板（吐出先部材）16が固定される。ステージ12は接地されており、したがって絶縁性基板16はステージ12を通じて接地される。絶縁性基板16にはノズル11から吐出された吐出材料15により、例えば微細な配線パターンが形成される。
- [0114] ノズル11は、超微細液体を吐出可能とするために、低コンダクタンスの流路がノズル11の近傍に設けられているか、もしくはノズル11自身が低コンダクタンスのものとなっている。このために、ノズル11は、ガラス製キャピラリーが好適であるが、導電性物質に絶縁材でコーティングしたものでも可能である。
- [0115] ノズル11をガラス製とする理由は、容易に数 $\mu\text{m}$ 程度のノズル孔を形成できること、ノズル孔の閉塞時にはノズル端を破砕することにより新しいノズル端を再生できること、ガラスノズルの場合、テーパ角がついているために、不要な溶液が表面張力によって上方へと移動し、ノズル端に滞留せず、ノズル詰まりの原因にならないこと、およびノズル11が適度な柔軟性を持つため、可動ノズルの形成が容易であること等による。
- [0116] 具体的には、芯入りガラス管（商品名：株式会社ナリシゲ製GD-1）を用い、キャピラリーブラーにより作成することができる。芯入りガラス管を用いた場合には次のような利点がある。
- [0117] （1）芯側ガラスがインクに対し濡れやすいために、インクの充填が容易になる。（2）

芯側ガラスが親水性で、外側ガラスが疎水的であるためにノズル端部において、インクの存在領域が芯側のガラスの内径程度に限られ、電界の集中効果がより顕著となる。(3)微細ノズル化が可能となる。(4)十分な機械的強度が得られる。

[0118] ノズル径の下限値は、制作上の都合から $0.01\mu\text{m}$ が好ましく、また、ノズル径の上限値は、図3に示した静電的な力が表面張力を上回る時のノズル径の上限が $25\mu\text{m}$ であること、および図4に示した局所的な電界強度によって吐出条件を満たす場合のノズル径の上限が $25\mu\text{m}$ であることから $25\mu\text{m}$ が好ましく、 $15\mu\text{m}$ がより好ましい。特に、局所的な電界集中効果をより効果的に利用するには、ノズル径は $0.01\sim 8\mu\text{m}$ の範囲が望ましい。本実施の形態において、ノズル径は $\phi 0.1\sim \phi 20\mu\text{m}$ の範囲に設定している。

[0119] また、ノズル11は、キャピラリーチューブに限らず、微細加工により形成される2次元パターンノズルでもかまわない。ノズル11を成形性の良いガラスとした場合、ノズル11を電極として利用することはできないから、ノズル11内には、金属線(例えばタングステン線)を駆動電極13として挿入する。なお、ノズル11内にメッキにて駆動電極13を形成しても良い。また、ノズル11自体を導電性物質で形成した場合には、その上に絶縁材をコーティングする。

[0120] また、駆動電極13は、ノズル11内に充填された液体である吐出材料15に浸されるように配置する。吐出材料15は図示しない供給源から供給される。

[0121] 電源(駆動電圧印加手段)14の動作は、例えばコンピュータからなる制御装置(駆動電圧印加手段)17により制御される。すなわち、制御装置17からの吐出信号が電源14に供給され、この吐出信号に応じて電源14からパルス波形の電圧が駆動電極13に印加される。ノズル11内の吐出材料15はこの電圧により帯電し、ノズル11から吐出される。上記駆動電圧の一例を図11に示す。この駆動電圧は、極性が順次正負に判定する両極性パルス電圧であり、その周波数は $1\text{Hz}$ 以上となっている。

[0122] 絶縁性基板16としては、表面抵抗値が $10^{10}\Omega/\text{sq}$ 以上のものであれば良く、ポリイミドやアクリル、ポリカーボネード等の高分子材料以外に、低湿度環境下のガラス等からなるものも上記範囲内に当てはまる。

[0123] 上記の構成において、まず、ノズル11からの微細液体の吐出原理について説明す

る。この吐出原理は次のように考えられている。静電吸引型流体吐出装置では、電源14から駆動電極13に駆動電圧が印加されることにより、駆動電極13から吐出材料15に電荷が供給される。この電荷は、ノズル11内部の吐出材料15を通じて、ノズル11の先端部に形成された、静電容量を有するメニスカス40に移動する。そして、静電吸引型流体吐出装置40の電荷量が所定量に達すると、ノズル11から絶縁性基板16への液体の吐出が行われる。

- [0124] 次に、静電吸引型流体吐出装置におけるノズル11から吐出材料15を吐出して絶縁性基板16に所望のパターンを形成する場合の動作について説明する。
- [0125] ノズル11は、3次元ロボット等の駆動装置により、所望のパターニングデータに応じてX軸方向およびY軸方向に2次元駆動される。この際、ノズル11は、さらにノズル11の先端と絶縁性基板16との距離(ギャップ)が常に30〜200  $\mu\text{m}$ の範囲内となるように、Z軸方向の位置が制御される。上記のギャップ測定手段としては、レーザを利用した変位計あるいはレーザを利用したギャップ測長計が利用される。
- [0126] ノズル11の上記移動に伴い、ノズル11の駆動電極13に対して電源14から両極性パルス電圧(駆動電圧)が印加される。これにより、ノズル11内の吐出材料15においてノズル11の先端方向に向けて電荷の移動が始まる。そして、ノズル11の先端部において吐出材料15により形成されるメニスカス40に電荷が蓄積されてその周辺部の電界強度が上昇する。その後、電界強度がノズル11から吐出材料15を吐出させるための臨界点を超えると、ノズル11から吐出材料15が吐出され、絶縁性基板16上に着弾する。この場合、ノズル11の駆動電圧として1Hz以上の両極性パルス電圧が駆動電極13に印加されているので、絶縁性基板16上に着弾する液体の極性は正負交互となる。また、1発の吐出時間は500msec以下となる。
- [0127] 次に、静電吸引型流体吐出装置による絶縁性基板16への描画動作における両極性パルス電圧の周波数特性について説明する。
- [0128] 図12には、ポリイミド基板(絶縁性基板16)上に銀ナノペーストを吐出材料として吐出した場合の駆動電圧周波数と吐出最低電圧との関係を示し、図13には駆動電圧周波数とライン描画時における絶縁性基板16上での液滴飛散領域幅との関係を示している。

- [0129] 駆動電極13に駆動電圧として両極性パルス電圧を印加した場合、交互に印加される正電圧および負電圧のそれぞれに応じてノズル11から吐出材料15の液滴が吐出される。このときの吐出時間は両極性パルス電圧の周波数に応じて変化し、この吐出時間に比例して絶縁性基板16上に着弾する吐出材料15の一滴の電荷量が変化する。
- [0130] この場合、両極性パルス電圧の周波数を下げて一発(一回の吐出)あたりの電荷量を増やすと、図12に示すように、吐出最低電圧(ノズル11からの吐出開始電圧)が上昇する。これは、一発あたりの電荷量が増加すると、絶縁性基板16上に着弾した液滴の電荷量(絶縁性基板16のチャージ量)が大きくなって絶縁性基板16とノズル11との間の電位差が低下し、持続的に安定吐出を行うのに必要な駆動電極13への印加電圧(駆動電圧)の値が高くなることによる。
- [0131] すなわち、図12においては、駆動電圧周波数が1Hzよりも低くなると吐出最低電圧(吐出開始電圧)が上昇し始めており、このように駆動電圧周波数が1Hz未満の条件では、駆動電圧がDCバイアス(DC電圧)である場合のように、ノズル11からの吐出動作が、絶縁性基板16のチャージアップの影響を受け始めている。
- [0132] 実際に、図12に示すように、絶縁性基板16上への吐出材料15の吐出による描画時における絶縁性基板16上での液滴の飛散領域幅は、駆動電圧周波数が1Hz未満の条件下において急激に増大していることが確認できる。逆に、駆動電圧周波数が1Hz以上の条件下では、絶縁性基板16上での液滴の飛散領域幅を $50\ \mu\text{m}$ 以下に抑制することができ、良好な描画像を安定して形成することができる。
- [0133] 以上のように、本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置では、ノズル11の駆動電極13に印加する駆動電圧として1Hz以上の両極性パルス電圧を使用しているので、絶縁性基板16のチャージアップによる絶縁性基板16での液滴の飛散領域の拡大と駆動電圧の上昇とを抑制することができる。この結果、絶縁性基板16に対する微細パターンの形成を、ノズル11の低電圧駆動により、かつ鮮明に行うことができる。
- [0134] なお、本実施の形態では、駆動電圧としての両極性パルス電圧をノズル11の駆動電極13に印加するものとして説明したが、ノズル11からの吐出に必要な駆動電圧は駆動電極13に印加される電圧と対向電極として機能するステージ12との間の電位

差である。したがって、駆動電圧は、ステージ12にのみ印加される電圧である構成、あるいはステージ12に印加される電圧と駆動電極13に印加される電圧との合成電圧(電位差)である構成であってもよい。

[0135] また、駆動電圧である両極性パルス電圧としては、AC等のようなスルーレートの低い波形であっても利用可能である。

[0136] 〔実施の形態2〕

本発明の実施の他の形態を図面に基づいて以下に説明する。

[0137] 図14(a)および図14(b)は、ノズル11の駆動電極13に印加される駆動電圧としての両極性パルス電圧の波形とノズル11先端における吐出材料15の表面電位との関係を示す波形図であって、図14(a)はノズル11から吐出材料15の吐出が起きない場合、図14(b)は同吐出が起こる場合を示している。図15は、ノズル11において駆動電極13から供給される電荷がノズル11先端のメニスカス40に蓄積される動作の説明図である。図16は、図14(b)の駆動電圧(駆動電圧周波数)を使用した場合のノズル11からの吐出材料15の吐出および不吐出の様子を示す説明図である。図17は、駆動電圧周波数と吐出最低電圧との関係を示すグラフ、図18は、駆動電圧周波数と絶縁性基板16上における液滴の飛散領域幅との関係を示すグラフである。図19は、吐出材料15として、染色インクおよび銀ナノペーストを使用した場合における駆動電圧周波数と吐出最低電圧との関係を広い周波数範囲で示すグラフである。なお、本実施の形態においては、前記の実施形態と同じ部分の説明は省略し、異なる部分のみを説明する。

[0138] 本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置は図1に示した構成を有する。この静電吸引型流体吐出装置においては、ノズル11の駆動電極13に両極性パルス電圧を印加した場合の電圧波形、およびこの電圧印加に基づいてノズル11先端の吐出材料15に蓄積される電荷による表面電位との関係が図14(a)または図14(b)のようになる。

[0139] すなわち、図14(a)、(b)および図15において、ノズル11の駆動電極13に両極性パルス電圧101を印加すると、ノズル11内部の駆動電極13からノズル11先端に向けて吐出材料15内を電荷が移動し、この電荷がノズル11先端のメニスカス40に蓄

積される。これにより、メニスカス表面電位102は、立上り電位101aおよび立下り電位101bで最大となるような飽和曲線を描きながら上昇する。この場合、メニスカス表面電位102が吐出に必要な駆動力を得るための吐出可能最低電位103に達した時点にて、ノズル11からの吐出材料15の吐出が開始される。

[0140] したがって、図14(a)に示すように、メニスカス表面電位102が吐出可能最低電位103に到達しないうちにパルスが反転するような(逆極性電圧が印加されるような)駆動電圧周波数の場合には、ノズル11からの吐出材料15の吐出は生じない。そこで、ノズル11からの吐出材料15の吐出が行われるようにするには、両極性パルス電圧101の振幅を大きくするか、あるいは駆動電圧周波数を下げて両極性パルス電圧101の正電圧および負電圧それぞれの印加時間を長くする必要がある。

[0141] ここで、駆動電圧周波数を低下させる場合に注目すると、吐出材料15の電気伝導度  $\sigma$  S/m および比誘電率  $\epsilon$  にて決定される帯電時定数  $\tau$  と両極性パルス電圧101における正電圧および負電圧それぞれの印加時間  $T$  との大小関係によりノズル11からの吐出の有無を設定することができる。したがって、図14(b)に示すように、駆動電圧周波数  $f$  Hz を帯電時定数  $\tau$  よりも印加時間  $T$  が大きくなるように設定すること、すなわち、駆動電圧周波数  $f$  を、 $f \leq 1/(2\tau)$  を満たすように設定することにより、ノズル11からの吐出材料15の吐出を行わせることができる。図16には、図14(b)の駆動電圧(駆動電圧周波数)に対応してノズル11からの吐出材料15の吐出および不吐出の様子を示す。

[0142] 具体例として、ポリイミド基板(絶縁性基板16)上に銀ナノペーストを吐出材料15として吐出させた場合について、図17には駆動電圧周波数と吐出最低電圧との関係を示し、図18には駆動電圧周波数と絶縁性基板16における液滴の飛散領域幅との関係を示す。

[0143] 図17の結果では、駆動電圧周波数が約50Hz以上になると吐出最低電圧が上昇している。これは、メニスカス表面電位102を吐出可能最低電位103に到達させるために、印加電圧(両極性パルス電圧)を大きくせざるを得ない駆動電圧周波数条件であることを意味している。すなわち、駆動電圧周波数が50Hz以上である場合は、 $f \leq 1/(2\tau)$  を満たさない駆動周波数条件である。

- [0144] また、図18の結果では、駆動電圧周波数が50Hz以上において、絶縁性基板16上における液滴の飛散領域が大きくなり、絶縁性基板16上の描画像の乱れが大きくなっていることがわかる。すなわち、絶縁性基板16上における液滴の飛散をできるだけ抑制して、鮮明な微細パターンを得るためには、50Hz以下の駆動電圧周波数で吐出を行う必要がある。
- [0145] 図19には、吐出材料15として、電気伝導度が $10^{-4} \sim 10^{-6}$  (S/cm)の染色インクおよび電気伝導度が $10^{-7} \sim 10^{-9}$  (S/cm)の銀ナノペーストを使用した場合における駆動電圧周波数と吐出最低電圧との関係を広い周波数範囲で示す。すなわち、図19は銀ナノペーストについては、低い周波数範囲を示す図12と高い周波数範囲を示す図17とを合成したものとなっている。
- [0146] なお、図19に基づく駆動電圧周波数 $f$ の好ましい範囲は、 $1\text{Hz} \leq f$ かつ $f \leq 1/(2\tau)$ である。
- [0147] 以上のように、本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置では、駆動電圧として、駆動電圧周波数 $f$ が、 $f \leq 1/(2\tau)$ を満たすような両極性パルス電圧を使用してノズル11を駆動することにより、吐出最低電圧の上昇を抑制し、かつ絶縁性基板16上における液滴の飛散領域を狭くし、絶縁性基板16上において鮮明な微細パターンを形成することができる。
- [0148] なお、本実施の形態では、駆動電圧としての両極性パルス電圧をノズル11の駆動電極13に印加するものとして説明したが、ノズル11からの吐出に必要な駆動電圧は駆動電極13に印加される電圧と対向電極として機能するステージ12との間の電位差である。したがって、駆動電圧は、ステージ12にのみ印加される電圧である構成、あるいはステージ12に印加される電圧と駆動電極13に印加される電圧との合成電圧(電位差)である構成であってもよい。
- [0149] また、駆動電圧である両極性パルス電圧としては、AC等のようなスルーレートの低い波形であっても利用可能である。
- [0150] 〔実施の形態3〕  
本発明の実施のさらに他の形態を図面に基づいて以下に説明する。
- [0151] 本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置は図20に示す構成を有する。すなわち



、本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置では、ステージ12が移動装置(移動手段)21に駆動されて移動する。制御装置(制御手段)22は、移動装置21の移動方向、移動速度および移動タイミング等を制御する。制御装置22は、さらに電源14からノズル11の駆動電極13に供給される駆動電圧の電圧値、駆動電圧周波数および駆動電圧の印加タイミング等を制御する。

[0152] 図21は、本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置におけるステージ12の走査速度と絶縁性基板16上における液滴の飛散領域幅との関係を示すグラフである。図21には、ポリイミド基板(絶縁性基板16)上に銀ナノペーストを吐出材料15としてライン描画を行った場合の吐出実験結果を示している。この場合のノズル径は約 $1\mu\text{m}$ であり、駆動電圧周波数は50Hzである。ノズル11と絶縁性基板16(ステージ12)との相対移動は、ステージ12を移動させて行っている。

[0153] 図21の結果では、走査速度が $10\mu\text{m}/\text{sec}$ 以下となる範囲において、絶縁性基板16上における液滴の飛散領域が急激に狭くなっていることがわかる。これは、ノズル11から吐出材料15を吐出する場合において、絶縁性基板16上に既に着弾しているドット(液滴)の位置に対する次に着弾するドット(液滴)の位置のずれ量が、絶縁性基板16上における液滴の飛散領域幅に影響することを意味している。

[0154] したがって、絶縁性基板16上における液滴の飛散領域幅を最小限に抑制する上での理想的な状態は、絶縁性基板16に対して走査速度がゼロの状態にて、すなわち絶縁性基板16上に既に着弾している液滴上の位置にノズル11が存在する状態にて、両極性パルス電圧の正電圧と負電圧とで交互に吐出材料15を吐出するものである。この状態では、常にほぼ0Vに除電された周辺絶縁部(絶縁性基板16の表面)よりも低抵抗な描画部(着弾液滴部)がノズル11の真下位置に存在することになり、絶縁性基板16上の着弾位置のチャージアップが抑制される。したがって、この場合には、吐出最低電圧の上昇が抑制され、かつ絶縁性基板16上における、同極性電荷を有する液滴同士の反発による液滴の飛散が抑制される。

[0155] これに対し、ノズル11と絶縁性基板16とが相対移動しながら吐出材料15の吐出が行われ、その走査速度(相対速度)が速くなると、ノズル11からの吐出材料15の吐出位置が直前の着弾位置よりも少しずれた状態となる。この場合には、絶縁性基板16

上の電位と描画ライン上の電位との両方の影響を受けながら吐出が行われるため、吐出安定性が低下し、絶縁性基板16上において吐出位置周囲への吐出材料15の飛散が起きやすくなる。

[0156] 具体的に、図21に示した結果において、液滴の飛散領域幅が広がる臨界点である走査速度(ステージ速度)  $10 \mu\text{m}/\text{sec}$ 、駆動周波数  $50\text{Hz}$  の条件とは、直前の着弾位置から  $0.1 \mu\text{m}$  離れた位置に次の逆極性電荷を持った液滴が着弾するような条件である。すなわち、一般的に駆動電圧周波数  $f\text{Hz}$ 、吐出走査速度  $v \mu\text{m}/\text{sec}$  の吐出条件において、ドット間隔  $v/2f$  を  $0.1 \mu\text{m}$  以下とすることにより、絶縁性基板16上における液滴の飛散を低減することができる。上記の結果から、両極性パルス電圧における駆動電圧周波数  $f\text{Hz}$  と吐出走査速度  $v \mu\text{m}/\text{sec}$  の関係を導くと、 $v/2f \leq 0.1 \mu\text{m}$  より、 $f \geq 5v$  となる。

[0157] なお、上記の条件は、描画するラインの幅およびドットの直径が  $1 \sim 10 \mu\text{m}$  の範囲において好適である。

[0158] 以上のように、本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置では、絶縁性基板16上に吐出材料15の微細液滴を吐出してライン描画を行う場合、 $f \geq 5v$  を満たすように、駆動電圧周波数  $f\text{Hz}$  および吐出走査速度  $v \mu\text{m}/\text{sec}$  を設定することにより、絶縁性基板16上における液滴の飛散を抑制して、鮮明な微細パターンを形成することが可能となる。

[0159] なお、本実施の形態では、駆動電圧としての両極性パルス電圧をノズル11の駆動電極13に印加するものとして説明したが、ノズル11からの吐出に必要な駆動電圧は駆動電極13に印加される電圧と対向電極として機能するステージ12との間の電位差である。したがって、駆動電圧は、ステージ12にのみ印加される電圧である構成、あるいはステージ12に印加される電圧と駆動電極13に印加される電圧との合成電圧(電位差)である構成であってもよい。

[0160] また、駆動電圧である両極性パルス電圧としては、AC等のようなスルーレートの低い波形であっても利用可能である。

[0161] また、本実施の形態において、移動装置21はステージ12を移動させるものとしているが、絶縁性基板16に描画するためにはステージ12(絶縁性基板16)とノズル11

とが相対移動すればよく、したがって移動装置21はノズル11とステージ12との少なくとも一方を移動させるものであればよい。

[0162] 〔実施の形態4〕

本発明の実施のさらに他の形態を図面に基づいて以下に説明する。

[0163] 本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置は図1に示した構成を有する。図22は、本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置におけるノズル11の駆動電極13に印加する駆動電圧(両極性パルス電圧)と絶縁性基板16上における液滴の飛散領域との関係を示すグラフである。

[0164] 図22では、ポリイミド基板(絶縁性基板16)上に銀ナノペーストを吐出材料15として吐出し、描画を行った実験結果を示している。この場合のノズル径は約 $1\mu\text{m}$ であり、駆動電圧周波数は50Hz、ノズル11と絶縁性基板16(ステージ12)との相対移動速度(走査速度)は $200\mu\text{m}/\text{sec}$ としている。このような条件で吐出を行うと、吐出ピッチは $2\mu\text{m}$ となり、ノズル径 $1\mu\text{m}$ で吐出された着弾ドット径(着弾液滴径)は約 $1\mu\text{m}$ であるため、着弾形態はラインではなくドットとなる。

[0165] 図22の結果では、駆動電圧(パルス印加電圧)を大きくするに連れて、吐出材料15を吐出した場合における絶縁性基板16での液滴の飛散領域幅が急激に広がっている。これは、同一の位置に同極性の電荷を持った液滴が大量に着弾されるためである。すなわち、駆動電圧が高くなるとノズル11からの吐出材料15の吐出量が多くなり、それが絶縁性基板16上に着弾した場合における着弾液滴中の同極性電荷同士の反発により、液滴の飛散領域が拡大する。特に、駆動電圧が400Vを超えると飛散領域が急激に拡大している。逆に、駆動電圧が400以下では飛散領域が相対的に狭くなっている。すなわち、駆動電圧を400V以下とすることにより、周辺部への液滴の飛散を抑制した吐出を行うことができる。なお、この場合、駆動電圧の下限值は例えば吐出最低電圧となる。

[0166] 以上のように、本実施の形態の静電吸引型流体吐出装置では、絶縁性基板16上に微細液滴を吐出してドット形成する場合に、ノズル11の駆動電極13に印加する駆動電圧を400V以下としているので、絶縁性基板16上において、着弾ドット(着弾液滴)周辺部への液滴の飛散を抑制し、鮮明な微細パターンを形成することができる。

- [0167] なお、本実施の形態では、駆動電圧としての両極性パルス電圧をノズル11の駆動電極13に印加するものとして説明したが、ノズル11からの吐出に必要な駆動電圧は駆動電極13に印加される電圧と対向電極として機能するステージ12との間の電位差である。したがって、駆動電圧は、ステージ12にのみ印加される電圧である構成、あるいはステージ12に印加される電圧と駆動電極13に印加される電圧との合成電圧(電位差)である構成であってもよい。
- [0168] また、駆動電圧である両極性パルス電圧としては、AC等のようなスルーレートの低い波形であっても利用可能である。
- [0169] また、以上の実施の形態において、液滴の飛散領域幅は、描画するラインの幅に厳密に影響されるものではなく、描画パターン領域を含みその両側に広がる、液滴が不要に飛散している領域全体の幅と見なすことができる。
- [0170] 〔実施の形態5〕  
実施の形態5に係る静電吸引型流体吐出装置の構成を図23に示す。上記静電吸引型流体吐出装置では、接地されたステージ12上に絶縁性基板16を固定している。絶縁性基板16の種類としては、表面抵抗値が $10^{10} \Omega / \text{sq}$ 以上であれば良く、ポリイミドやアクリル、ポリカーボネード等の高分子材料以外に、低湿度環境下のガラス等も当てはまる。そして、絶縁性基板16に先端が対向するように、コロナチャージャ30と流体吐出ヘッド(ノズル)11とが設置されている。
- [0171] コロナチャージャ30では、電極ワイヤ31と、電極ワイヤ31に対して絶縁性基板16側に水平に設けられたスリット電極32とが配置され、さらに、電極ワイヤ31を囲む形でケース電極33が設置されている。電極ワイヤ31の材料としては、線径が約 $10 \sim 70 \mu\text{m}$ のニッケル、或いはタングステンが使用される。また、各電極には独立して電圧が印加できるように電源が繋がっている。スリット電極32と絶縁性基板16との間の距離は常に一定に保たれており、そのギャップは $100 \mu\text{m} \sim 2\text{mm}$ 程度である。
- [0172] 流体吐出ヘッド11は、先端孔径が $\phi 0.1 \sim 20 \mu\text{m}$ 程度で形成されており、内部に駆動電極13を有している。またその駆動電極13には、独立に両極性パルス電圧で且つその周波数を $1\text{Hz}$ 以上に制御をするための電源14が繋がっている。また、流体吐出ヘッド11の内部全体は所望の吐出材料、すなわち吐出流体で充填されている。

流体吐出ヘッド11は、これを独立して駆動するための3次元ロボットに備え付けられている。

- [0173] 次に、本実施の形態5に係る静電吸引型流体吐出装置の動作について説明する。まず、ステージ12をコロナチャージャ30に対して走査させる、あるいはステージ12に対してコロナチャージャ30を走査させることにより、ステージ12とコロナチャージャ30とを相対移動させ、この相対移動の間にコロナチャージャ30によって絶縁性基板16の基板表面を除電する。
- [0174] 絶縁性基板16の除電の際、電極ワイヤ31に約数kVのAC電圧を印加することにより、電極ワイヤ31周囲にコロナ放電を発生させる。そして、この時、スリット電極32の電位を約ゼロVに設定することにより、絶縁性基板16上でチャージアップしている電荷50(ここでは負電荷)とは逆の電荷を絶縁性基板16上に供給することができ、これによって絶縁性基板16の除電を行う。
- [0175] そして、除電が行われた絶縁性基板16に向け、所望のパターニングデータに対応して流体吐出ヘッド11による流体吐出が行われる。その際、流体吐出ヘッド11とステージ12との相対速度にて流体吐出ヘッド11の走査速度を決定している。また、流体吐出ヘッド11の先端は、絶縁性基板16との間で常に30〜200  $\mu$  mの一定ギャップを得るようにZ軸制御される。ギャップ制御手段としては、レーザを利用した変位計及びギャップ測長計が利用される。
- [0176] 流体吐出ヘッド11において流体吐出を行うために、電源14から両極性パルス電圧が駆動電極13に印加され、これによって吐出流体内部ではノズル先端方向に向けて電荷の移動が始まる。そして、ノズル先端部の流体界面であるメニスカス上に電荷が蓄積されながらその周辺部の電界強度が向上し、その電界力が必要最小限の吐出力を超えた時点で流体の吐出が開始され絶縁性基板16上に着弾される。
- [0177] 流体吐出ヘッド11では、駆動電極13を両極性パルス電圧で駆動しているため、該流体吐出ヘッド11から吐出される流体は正負交互に帯電する。このため、絶縁性基板16上には常に着弾ドットのチャージアップを抑制する極性の電荷を持った流体が着弾され、絶縁性基板16上でのチャージアップを抑制しながら安定した吐出を行うことができる。

[0178] 以上のように本実施の形態5に係る静電吸引型流体吐出装置の構成では、絶縁性基板16に対して、予めコロナチャージャ30により除電を行い、その後から両極性パルス電圧駆動で流体吐出を行うことにより、絶縁性基板16上でのチャージアップによる吐出不安定性を発生させることがない。このため、吐出時の飛散を抑制しながら安定した微細流体吐出を行うことができ、鮮明な微細パターンニング形成を行うことができる。

[0179] [実施の形態6]

実施の形態6に係る静電吸引型流体吐出装置の構成を図24に示す。本実施の形態6については、上記実施の形態5と同じ部分の説明は省略し、異なる部分のみを説明する。実施の形態5では、除電方法としてコロナチャージャを使用したのが、本実施の形態6では針状電極を使用している。

[0180] 図24における静電吸引型流体吐出装置の構成を以下に説明する。上記静電吸引型流体吐出装置では、絶縁性基板16に先端が対向するような形で除電ヘッド34と流体吐出ヘッド11とが設置されている。除電ヘッド34は先端径が $\phi 0.1 \sim 20 \mu\text{m}$ 程度に形成された金属製または金属コートされた絶縁性の針状構造であり、絶縁性基板16に対して針先端とのギャップが $50 \mu\text{m}$ 以下に設定されている。また、除電ヘッド34の先端は絶縁性基板16上に接していても構わない。そして除電ヘッド34には、独立に電圧制御するための電源35が繋がっている。また除電ヘッド34は、独立して駆動するための3次元ロボットに備え付けられている。

[0181] 次に除電動作について説明する。まず、除電ヘッド34が、所望のパターンニングデータに対応してXY2次元の駆動をされ、その際ヘッド先端と基板との間の距離を常に $5 \mu\text{m}$ 以下に保持しながらヘッド先端にAC電圧を与えることで、コロナ放電を発生させる。除電ヘッド34先端への印加電圧は、先端径により異なるが基本的に先端径が $\phi 5 \mu\text{m}$ 以下であれば振幅が400V以上で除電が可能である。そして、コロナ放電により発生する除電電荷は、除電ヘッド34先端と絶縁性基板16との間の電界力により、絶縁性基板16上で除電ヘッド34の真下に付着する。このような除電作用を、除電ヘッド34をXY走査させながら行うことで、絶縁性基板16上に所望のパターンニングデータに応じた除電部分が形成される。

- [0182] そして除電された部分の上に流体吐出ヘッド11によって流体が吐出され微細パターンが形成される。このように、予め除電ヘッド34をパターニングデータに対応して走査させることにより、パターニング領域における流体吐出ヘッド11からの安定した流体吐出を行うことができる。また、除電ヘッド34は実施の形態5におけるコロナチャージャのように、高電圧を必要としないため、コストメリットの高い低電圧ドライバによる制御を行うことができる。また、絶縁性基板16上の必要部分だけに除電が施されるため、除電に費やす時間が短くてすむ。
- [0183] 以上のように本実施の形態6に係る静電吸引型流体吐出装置の構成では、絶縁性基板16上の所望のパターニング領域に対して、予め針状の除電ヘッド34により除電を行い、その後から両極性パルス電圧駆動で流体吐出を行うことにより、絶縁性基板16上でのチャージアップによる吐出不安定性を発生させることがない。このため、吐出時の飛散を抑制しながら安定した微細流体吐出を行うことができ、鮮明な微細パターン形成を行うことができる。
- [0184] 尚、上記説明では、除電ヘッド34と流体吐出ヘッド11とはそれぞれ独立に駆動されるものであったが、これらは一体的に駆動されるものであっても良い。
- [0185] 【実施の形態7】
- 流体吐出ヘッド11では、電圧印加された駆動電極13から供給される電荷が吐出流体中をノズル先端に向けて移動し始め、ノズル先端部に蓄積されながらメニスカスが形成される。また、そのメニスカス径は、基本的にノズルの孔径とほぼ同等の大きさで形成される。
- [0186] そして、メニスカ스에蓄積された電荷で形成される電界力が、吐出に必要な駆動力を超えた瞬間に流体吐出ヘッド11における流体吐出が開始される。つまり、各ノズル径を有した流体吐出ヘッド11の駆動電極13に対して、吐出開始電圧以上の電圧を与えれば流体吐出が行われる。具体的には、ノズル径が $\phi 1\sim 10\mu\text{m}$ の場合、吐出開始電圧は約140Vである。そして、印加電圧を大きくするにつれて吐出量を増加させることができ、高速走査に対応した多量吐出や大きな径のドット形成に対して有効である。
- [0187] しかしながら、印加電圧が所定の値を超えると気中放電開始電界を超えてしまう虞

がある。具体的には、メニスカス部での電荷集中によって生じる電界の強度が、下記式(Paschen Curveの算出式)によって求められる放電開始電界強度を越えてしまうと、ノズル先端部周辺の高電界部分で空気の絶縁破壊による放電が発生する可能性が高くなる。実際に、流体吐出時に放電が起きると吐出流体の飛散りが発生し、所望の微細パターン周辺にサテライト状の微小液滴が着弾し、画像ノイズとなる。

$$E = 4.03 \times 10^6 \left\{ 1 + 3.08 \times 10^{-2} / D^{0.54} + 4.48 \times 10^{-7} / D^{1.41} \right\}$$

E: 放電開始電界強度 (V/m)

D: ノズル径 (m)

- [0188] ここで、印加電圧を200V, 340V, 400V, 500Vとした場合のそれぞれについて、ノズル先端部のノズル径とメニスカス部での電荷集中によって生じる電界強度との関係を図25のグラフに示す。また、図25のグラフでは、上述のPaschen Curveの算出式によって求められるノズル径と放電開始電界強度との関係を共に示している。
- [0189] 上記図25において、各印加電圧におけるノズル径—電界強度線図が、Paschen Curveの算出式によって求められるノズル径—放電開始電界強度線図を上回る条件において、流体吐出時における気中放電が発生すると考えられる。
- [0190] そして、上記図25より、本発明の静電吸引型流体吐出装置にて対象とされるノズル径0.01〜25  $\mu$ mの条件では、印加電圧340V以下とすることで、放電が確実に起きない条件下での流体吐出が可能であることが分かる。これにより、飛散現象の無い安定した流体吐出が可能となり、より鮮明な微小パターンの形成が可能となる。また、同様に上記図25より、ノズル径が16  $\mu$ m以上または0.25  $\mu$ m以下の場合は500V以下の印加電圧にて放電を伴わない流体吐出が可能であり、ノズル径が7.4  $\mu$ m以上または0.65  $\mu$ m以下の場合は400V以下の印加電圧にて放電を伴わない流体吐出が可能であることが分かる。
- [0191] 以上、本実施の形態7に係る構成では、絶縁性基板16の基板に対し予め除電を行い、さらに流体吐出時における電界強度がPaschen Curveの算出式によって求められる放電開始電界強度よりも小さくなるような印加電圧にて流体吐出を行うことで、放電による周辺部への飛散を抑制することができ、より鮮明な微細パターン像を形成す



ることが可能となる。

[0192] 尚、上記実施の形態5ー7では、流体吐出ヘッド11内部の駆動電極13に印加される両極性パルス電圧を駆動電圧として説明したが、実際、駆動力として必要な電圧はヘッド内部の電極210に印加された信号電圧とステージ12側に印加された電圧の電位差であるため、ステージ側のみへの両極性パルス電圧の印加、もしくは、ヘッド側、ステージ側の両方の信号の合成でも構わない。また、両極性パルス電圧は、AC等のようなスルーレートの低い波形においても当てはまる。

[0193] 〔実施の形態8〕

実施の形態8に係る静電吸引型流体吐出装置の構成を図26に示す。上記静電吸引型流体吐出装置では、接地されたステージ12上に絶縁性基板16を設置している。そして、絶縁性基板16に先端が対向するように、電荷付与ヘッド60と流体吐出ヘッド11が設置されている。

[0194] 電荷付与ヘッド60は、先端径が $\phi 0.1 \sim 5 \mu\text{m}$ で形成された金属製または金属コートされた絶縁性の針状構造であり、絶縁性基板16に対して針先端とのギャップが $50 \mu\text{m}$ 以下に設定されている。また、電荷付与ヘッド60の先端は絶縁性基板上に接していても構わない。そして電荷付与ヘッド60には、独立に電圧制御するための電源61が繋がっている。また電荷付与ヘッド60は、独立して駆動するための3次元ロボットに備え付けられている。

[0195] 流体吐出ヘッド11は、先端孔径が $\phi 1 \sim 5 \mu\text{m}$ で形成されており、内部に駆動電極13を有している。またその駆動電極13には、独立に電圧制御をするための電源14が繋がっている。また、ヘッドの内部全体は所望の吐出材料、すなわち吐出流体で充填されている。流体吐出ヘッド11も電荷付与ヘッド60と同様に、独立して駆動するための3次元ロボットに備え付けられている。

[0196] 次に、本実施の形態8に係る静電吸引型流体吐出装置の動作について説明する。まず、所望のパターニングデータに対応して電荷付与ヘッド60がXY2次元の駆動をするが、その際、電荷付与ヘッド60の先端と絶縁性基板16との間の距離を常に $5 \mu\text{m}$ 以下に保持しながら、電源61によって電荷付与ヘッド60の先端に電圧を与え、コロナ放電を発生させる。

- [0197] 電荷付与ヘッド60の先端への印加電圧は、その先端径により異なるが基本的に先端径が $\phi 5 \mu\text{m}$ 以下であれば400V以上で放電が可能である。そして、放電された電荷は、電荷付与ヘッド60の先端と絶縁性基板16との間の電界力により、絶縁性基板16上の電荷付与ヘッド60の真下に付着し、付着電荷70となる。
- [0198] このような放電作用を電荷付与ヘッド60をXY走査させながら行うことで、絶縁性基板16上にパターニングデータに基づいた所望の付与電荷パターンが形成される。そして次に、付着電荷70にてパターニングされた部分の真上から、流体吐出ヘッド11を近づけてヘッド先端と絶縁性基板16表面との距離を30〜200  $\mu\text{m}$ に保ちながら、付着電荷70とは逆極性の電圧を駆動電極13に印加して流体吐出を行うことにより、付着電荷70による引き込み電界力が作用して、より鮮明な微細パターンを形成することができる。
- [0199] また、図27に示すように、流体吐出時の駆動電圧は、付着電荷70による表面電位に依存し、予め付着電荷量を多くすることにより駆動電圧を低減することが可能である。
- [0200] 以上のように本実施の形態8に係る静電吸引型流体吐出装置の構成では、絶縁性基板16に対して流体吐出前に予め描画すべき箇所駆動電圧極性とは逆極性の電荷を付与することにより、駆動電圧を低下することができ、且つ鮮明な微細流体吐出による微細パターニング形成を行うことができる。
- [0201] 〔実施の形態9〕
- 実施の形態9に係る静電吸引型流体吐出装置の構成を図28に示す。本実施の形態9については、上記実施の形態8と同じ部分の説明は省略し、異なる部分のみを説明する。本実施の形態9では、装置構成は上記実施の形態8と同じである。但し、実施の形態8に係る静電吸引型流体吐出装置の場合、電荷付与ヘッド60が絶縁性基板16に付与する電荷が流体吐出の駆動電圧極性とは逆極性の電荷であったのに対し、本実施の形態9の場合、絶縁性基板16に付与される電荷の極性は流体吐出の駆動電圧極性と同極性である点で異なる。
- [0202] 実施の形態9の動作について説明すると以下の通りである。まず、所望のパターニングデータに応じて電荷付与ヘッド60がXYの2次元駆動をするが、その際、電荷付

与ヘッド60の先端が所望のパターニングポイントに対して数 $\mu\text{m}$ 〜10 $\mu\text{m}$ 外れた周辺位置全体を走査するようにプログラムされている。そして電荷付与ヘッド60の先端と絶縁性基板16との間の距離を常に5 $\mu\text{m}$ 以下に保持しながらヘッド先端に電圧を与え、コロナ放電を発生させる。ヘッド先端への印加電圧は、先端径により異なるが基本的に先端径が $\phi 5\mu\text{m}$ 以下であれば400V以上で放電が開始する。

[0203] そして、放電された電荷は電荷付与ヘッド60の先端と絶縁性基板16との間の電界力により、絶縁性基板16上に付着し付着電荷70となる。このような放電作用を電荷付与ヘッド60をXY走査させながら行うことで、最終的に、所望のパターンの周辺を囲むような付着電荷パターンを絶縁性基板16上に形成することができる。

[0204] 次に、電荷パターニングで囲まれた所望のパターン部分の真上に、流体吐出ヘッド11を近づけてヘッド先端と絶縁性基板16表面との距離を30〜200 $\mu\text{m}$ に保ちながら、付着電荷70と同極性の電圧を印加して流体吐出を行う。これにより、吐出された流体は絶縁性基板16上に着弾する直前で、付着電荷70による反発電界力を横方向に受け、所望パターン部分に集中する方向に液滴が着弾することで、その微細パターンをより鮮明に形成することができる。

[0205] 以上、本実施の形態9に係る構成では、流体吐出の駆動電圧極性と同極性の付着電荷70を絶縁性基板16に予め与えることにより、付着電荷70の反発力を横方向に受けて、所望のポイントの周辺に吐出流体が着弾するのを抑制してパターンをより鮮明にし、さらに、その付着電荷70の着弾位置を最適化することにより、所望パターンのライン幅及びドット径を最小にすることが可能である。

[0206] 〔実施の形態10〕

実施の形態10に係る静電吸引型流体吐出装置の構成を図29に示す。本実施の形態10については、上記実施の形態8および9と同じ部分の説明は省略し、異なる部分のみを説明する。

[0207] 実施の形態10では、絶縁性基板16の材料として感光性材料を用いている。そして、上記絶縁性基板16に電荷を付与する手段としては、実施の形態8および9のような針状の電荷付与ヘッドを用いるのではなく、絶縁性基板16の表面全体を一様に帯電させることのできるコロナチャージャ等の一様電荷付与システム(図示せず)が用い

られる。

- [0208] また、表面全体を一様に帯電された絶縁性基板16に対し、所望のパターンにて除電を行う除電機構としてレーザユニット62が設置されている。レーザユニット62は電子写真技術で使用されるポリゴンミラーや $f\theta$  レンズ、シリンドリカルレンズ等で構成されている。
- [0209] 次に、本実施の形態10の動作について説明する。まず、一様電荷付与システムにより絶縁性基板16の上に一様に電荷が付与される。このような電荷付与手段としてコロナ放電が使用される場合は、絶縁性基板16上に与える電荷の表面電位をコロナ帯電器のスリット電圧で制御して所望の電荷量を付与することができる。
- [0210] そして、一様電荷が付与された感光性材料からなる絶縁性基板16に対し、レーザユニット62にて所望のパターン部分にのみレーザ63を照射することで除電が行われる。その際のレーザスポット径は最小で $5\mu\text{m}$ 程度まで絞ることができる。そのため、針電極による電荷付与方式に比べて精度の高い除電パターンの形成が可能である。
- [0211] そして、実施の形態9と同様に、付着電荷70で囲まれた所望の除電パターン部分に、流体吐出ヘッド11を近づけてヘッド先端と絶縁性基板16表面との距離を $30\sim 200\mu\text{m}$ に保ちながら、付着電荷70とは同極性の電圧を印加して流体吐出を行うことにより、付着電荷70から横方向に反発電界力を受けて、より鮮明に微細パターンを形成することができる。
- [0212] 本実施の形態10に係る構成では、有機感光体である絶縁性基板16を用い、該絶縁性基板に対して、一様帯電機構とレーザによる除電機構とを組み合わせ使用することにより、より高精度な除電パターンを形成することができ、吐出の乱れを生じることなく、除電パターン上に的確に吐出流体を着弾させることが可能になる。
- [0213] 〔実施の形態11〕
- 実施の形態11に係る静電吸引型流体吐出装置の構成を図30に示す。本実施の形態11については、上記実施の形態8ないし10と同じ部分の説明は省略し、異なる部分のみを説明する。
- [0214] 実施の形態11に係る静電吸引型流体吐出装置の基本構成は、実施の形態9に係る

る静電吸引型流体吐出装置の構成と同じである。すなわち、図30に示す電荷付与は、実施の形態9に示すように針電極によるコロナ放電や、微細パターン電極による接触帯電などで行われる。但し、実施の形態9は所望のパターン部周辺に吐出流体に印加する電圧と同極性の電荷を付与するものであったが、本実施の形態11では所望のパターン部の非描画部分に電荷を付与する。

- [0215] 次に、本実施の形態11の動作について説明する。まず、コロナ帯電などの電荷付与手段(図26または図28に示す電荷付与ヘッド60等が使用可能)により予め絶縁基板20上に付着電荷70を与え、該付着電荷70によって所望の非描画パターンを形成する。そして、その上から、所望の描画パターンを流体吐出ヘッド11を用いて形成するが、その際、非描画パターンを形成する付着電荷70上では、選択的に反発電界力を受けるので吐出流体が絶縁性基板16上に着弾することができない。このため、流体吐出ヘッド11内部の駆動電圧を停止することなく描画パターンの合間に非描画パターンを形成することが可能である。
- [0216] すなわち、上記付着電荷70によって形成される非描画パターンは、連続した流体吐出によって形成される描画パターンが、一旦途切れるような箇所において形成される。
- [0217] 非描画パターンの形成条件は、付着電荷70による絶縁性基板16上の表面電位と流体吐出ヘッド11の駆動電圧との電位差を考慮し、例えば、絶縁性基板16がポリイミドの場合、その電位差を330V未満に設定しておけば非描画領域を形成することができる。また、非描画領域の大きさは、絶縁性基板16上の表面電位と流体吐出ヘッド11の駆動電圧との電位差の大きさにより制御することができる。
- [0218] 本実施の形態11に係る構成では、絶縁性基板16上に予め非描画領域に対応したパターンの電荷を流体吐出電圧と同極性で与えることにより、流体吐出ヘッド11の停止を行うことなしに非描画領域を的確に形成することができ、さらには、付与電荷50の表面電位とヘッドの駆動電圧との差を制御することによって、非描画領域の大きさを制御することができる。

[0219] [実施の形態12]

実施の形態12に係る静電吸引型流体吐出装置の構成を図31に示す。本実施の

形態12については、上記実施の形態8ないし11と同じ部分の説明は省略し、異なる部分のみを説明する。

- [0220] 本実施の形態12に係る静電吸引型流体吐出装置は、既にパターニングされている導電パターン80を有する絶縁性基板16に対し、導電パターン80のライン上の重ね塗り、もしくはライン同士の連結のための流体吐出を高精度に行うことを目的とするものである。
- [0221] 上記静電吸引型流体吐出装置にて、ラインの重ね塗り、またはライン同士の連結を行う場合には、絶縁性基板16上にパターニングされた導電パターン80の端に共通電極81が配置される。この共通電極81は、静電吸引型流体吐出装置が備えるものであり、絶縁性基板16に対する描画実施時に導電パターン80の端部に接触するように置かれるものである。共通電極81には電圧制御が可能になるように電源82が繋がれている。
- [0222] 次に、実施の形態12の動作について説明する。図31に示すように、電源82から共通電極81に電圧を印加し、さらに、流体吐出ヘッド11に共通電極81に対して逆極性の電圧を印加すると、共通電極81に接触した導電パターン80に対して集中して流体の吐出が行われる。
- [0223] この時、共通電極81と流体吐出ヘッド11の駆動電極13との間の電位差が大きいほど、導電パターン80上への吐出の集中度が大きくなり、特に、導電パターン80上への重ね塗り吐出パターン83や、導電パターン80同士の連結パターン84を描画する際に有効となる。
- [0224] また、導電パターン80同士を連結する際、連結部分の接触抵抗値をできるだけ下げするために連結部分の吐出量を少し大きくして、ラインの重なり部分の面積を大きくすることが好ましいが、その吐出量は共通電極81への印加電圧により制御することができる。
- [0225] 本実施の形態12に係る構成では、絶縁基板20上に存在する導電パターン80に予め電圧を印加することにより、導電パターン80上への吐出を集中して行うことができ、ラインの重ね塗りやライン同士の連結の描画精度を向上することができる。
- [0226] 尚、上記実施の形態8〜12では、流体吐出ヘッド11内部の駆動電極13に印加さ

れる電圧を駆動電圧として説明したが、実際、駆動力として必要な電圧はヘッド11内部の電極13に印加された信号電圧とステージ12側に印加された電圧の電位差であるため、各電極の信号形態は任意で構わない。また、駆動電圧の符号は、正負どちらでも構わない。

#### 産業上の利用の可能性

- [0227] 絶縁性基板上に導電性の配線パターンを描画する装置や、インクジェットプリンタ等に適用できる。

## 請求の範囲

- [1] ノズルと吐出先部材との間に駆動電圧印加手段から駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させる静電吸引型流体吐出装置において、  
前記ノズルの孔径は  $\phi 0.01 \mu\text{m}$  ～  $\phi 25 \mu\text{m}$  であり、  
前記駆動電圧印加手段は、前記駆動電圧として、正負両極性に反転する両極性パルス電圧であり、周波数が  $1\text{Hz}$  以上の電圧を出力する静電吸引型流体吐出装置。
- [2] ノズルと吐出先部材との間に駆動電圧印加手段から駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させる静電吸引型流体吐出装置において、  
前記ノズルの孔径は  $\phi 0.01 \mu\text{m}$  ～  $\phi 25 \mu\text{m}$  であり、  
前記駆動電圧印加手段は、前記駆動電圧として、正負両極性に反転する両極性パルス電圧であり、前記流体の電気伝導度  $\sigma \text{ S/m}$  および比誘電率  $\epsilon$  に対して、 $\tau = \epsilon / \sigma$  にて決定される時定数  $\tau$  と駆動電圧周波数  $f\text{Hz}$  との関係が  $f \leq 1 / (2 \tau)$  となる電圧を出力する静電吸引型流体吐出装置。
- [3] ノズルと吐出先部材との間に駆動電圧印加手段から駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させるとともに、移動手段にて前記ノズルと吐出先部材とをこれら両者の対向方向に直交する方向に相対移動させる静電吸引型流体吐出装置において、  
前記ノズルの孔径は  $\phi 0.01 \mu\text{m}$  ～  $\phi 25 \mu\text{m}$  であり、  
前記駆動電圧印加手段は、前記駆動電圧として、正負両極性に反転し、周波数が  $f\text{Hz}$  である両極性パルス電圧を出力するものであり、  
前記駆動電圧印加手段の駆動電圧周波数  $f\text{Hz}$  と前記相対移動における相対速度  $v \mu\text{m/sec}$  との関係が、 $f \geq 5v$  となるように、前記駆動電圧出力手段と前記移動手段との少なくとも一方を制御する制御手段をさらに備えている静電吸引型流体吐出装置。
- [4] ノズルと吐出先部材との間に駆動電圧印加手段から駆動電圧を印加して、ノズル



内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させるとともに、移動手段にて前記ノズルと吐出先部材とをこれら両者の対向方向に直交する方向に相対移動させる静電吸引型流体吐出装置において、

前記ノズルの孔径は  $\phi 0.01 \mu\text{m}$  ～  $\phi 25 \mu\text{m}$  であり、

前記駆動電圧印加手段は、前記駆動電圧として、正負両極性に反転する両極性パルス電圧であり、400V以下の電圧を出力する静電吸引型流体吐出装置。

- [5] ノズルと吐出先部材との間に駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させる静電吸引型流体吐出方法において、

前記ノズルの孔径は  $\phi 0.01 \mu\text{m}$  ～  $\phi 25 \mu\text{m}$  であり、

前記駆動電圧は、正負両極性に反転する両極性パルス電圧であり、周波数が1Hz以上の電圧である静電吸引型流体吐出方法。

- [6] ノズルと吐出先部材との間に駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させる静電吸引型流体吐出方法において、

前記ノズルの孔径は  $\phi 0.01 \mu\text{m}$  ～  $\phi 25 \mu\text{m}$  であり、

前記駆動電圧は、正負両極性に反転する両極性パルス電圧であり、前記流体の電気伝導度  $\sigma$  S/mおよび比誘電率  $\epsilon$  に対して、 $\tau = \epsilon / \sigma$  にて決定される時定数  $\tau$  と駆動電圧周波数fHzとの関係が  $f \leq 1 / (2 \tau)$  となる電圧である静電吸引型流体吐出方法。

- [7] ノズルと吐出先部材との間に駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させるとともに、前記ノズルと吐出先部材とをこれら両者の対向方向に直交する方向に相対移動させる静電吸引型流体吐出方法において、

前記ノズルの孔径は  $\phi 0.01 \mu\text{m}$  ～  $\phi 25 \mu\text{m}$  であり、

前記駆動電圧として、正負両極性に反転し、周波数がfHzである両極性パルス電圧を出力し、

前記駆動電圧周波数fHzと前記相対移動における相対速度  $v \mu\text{m} / \text{sec}$  との関係

が、 $f \geq 5v$ となるように駆動電圧周波数と相対移動速度との少なくとも一方を制御する静電吸引型流体吐出方法。

- [8] ノズルと吐出先部材との間に駆動電圧を印加して、ノズル内に供給された流体に電荷を供給し、この流体をノズル孔から前記吐出先部材に吐出させる静電吸引型流体吐出方法において、

前記ノズルの孔径は  $\phi 0.01 \mu m \sim \phi 25 \mu m$  であり、

前記駆動電圧は、正負両極性に反転する両極性パルス電圧であり、400V以下の電圧である静電吸引型流体吐出方法。

- [9] 電圧印加により帯電された吐出流体を、流体吐出ヘッドのノズルの流体噴出孔から静電吸引によって吐出させ基板に着弾させることによって、該基板表面に吐出流体による描画パターンを形成する静電吸引型流体吐出装置において、

上記ノズルの流体噴出孔は、そのノズル径が  $0.01 \sim 25 \mu m$  であると共に、

上記基板が絶縁性基板であり、該絶縁性基板への流体吐出前に、該絶縁性基板表面の電荷を除電する除電手段と、

除電された絶縁性基板に対して、正負両極性のパルス電圧にて流体吐出を行う流体吐出手段とを備えている静電吸引型流体吐出装置。

- [10] 上記除電手段は、所定のパターンにて絶縁性基板の除電を行う請求の範囲第9項記載の静電吸引型流体吐出装置。

- [11] 上記流体吐出手段は、流体吐出時におけるメニスカス部への電荷集中によって生じる電界強度が、Paschen Curveの算出式によって求められる放電開始電界強度よりも小さくなるような印加電圧にて流体吐出を行う請求の範囲第9項記載の静電吸引型流体吐出装置。

- [12] 上記流体吐出手段は、340V以下の印加電圧にて流体吐出を行う請求の範囲第11項記載の静電吸引型流体吐出装置。

- [13] 上記ノズルの流体噴出孔は、そのノズル径が  $16 \mu m$  以上または  $0.25 \mu m$  以下であり、

上記流体吐出手段は、500V以下の印加電圧にて流体吐出を行う請求の範囲第11項記載の静電吸引型流体吐出装置。

- [14] 上記ノズルの流体噴出孔は、そのノズル径が $7.4\mu\text{m}$ 以上または $0.65\mu\text{m}$ 以下であり、  
上記流体吐出手段は、 $400\text{V}$ 以下の印加電圧にて流体吐出を行う請求の範囲第1項記載の静電吸引型流体吐出装置。
- [15] 電圧印加により帯電された吐出流体を、流体吐出ヘッドのノズルの流体噴出孔から静電吸引によって吐出させ基板に着弾させることによって、該基板表面に吐出流体による描画パターンを形成する静電吸引型流体吐出方法において、  
上記ノズルの流体噴出孔は、そのノズル径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、  
上記基板が絶縁性基板であり、該絶縁性基板への流体吐出前に、該絶縁性基板表面の電荷を除電し、  
除電された絶縁性基板に対して、正負両極性のパルス電圧にて流体吐出を行う静電吸引型流体吐出方法。
- [16] 電圧印加により帯電された吐出流体を、流体吐出ヘッドのノズルの流体噴出孔から静電吸引によって吐出させ基板に着弾させることによって、該基板表面に吐出流体による描画パターンを形成する静電吸引型流体吐出装置において、  
上記ノズルの流体噴出孔は、そのノズル径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、  
上記基板が絶縁性基板であり、該絶縁性基板の表面に所定のパターンにて電荷を付与する電荷付与手段を備えている静電吸引型流体吐出装置。
- [17] 上記電荷付与手段は、  
感光性材料からなる絶縁性基板に対して電荷を付与するものであり、  
上記絶縁性基板の表面を一様に帯電させる一様帯電手段と、  
一様帯電された上記絶縁性基板の表面に所定のパターンにてレーザ照射を行い、レーザ照射された箇所の除電を行う除電手段とを備えている請求の範囲第16項記載の静電吸引型流体吐出装置。
- [18] 電圧印加により帯電された吐出流体を、流体吐出ヘッドのノズルの流体噴出孔から静電吸引によって吐出させ基板に着弾させることによって、該基板表面に吐出流体による描画パターンを形成する静電吸引型流体吐出装置において、  
上記ノズルの流体噴出孔は、そのノズル径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、

上記基板が絶縁性基板であり、導電材がパターンニングされた該絶縁性基板に対して接触配置可能であり、流体吐出時に該絶縁性基板上の導電部に電圧を印加する電圧印加手段を備えている静電吸引型流体吐出装置。

- [19] 電圧印加により帯電された吐出流体を、流体吐出ヘッドのノズルの流体噴出孔から静電吸引によって吐出させ絶縁性基板に着弾させることによって、該絶縁性基板表面に吐出流体による描画パターンを形成する静電吸引型流体吐出装置による描画パターン形成方法において、

上記ノズルの流体噴出孔は、そのノズル径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、

上記基板が絶縁性基板であり、該絶縁性基板に対し、吐出流体の吐出前に、描画パターンを形成すべき箇所に、予め吐出流体を帯電させるための駆動電圧極性とは逆極性の電荷を付与することで電荷パターンを形成し、

上記電荷パターンの上に流体吐出を行うことによって吐出流体による描画パターンを形成する描画パターン形成方法

- [20] 電圧印加により帯電された吐出流体を、流体吐出ヘッドのノズルの流体噴出孔から静電吸引によって吐出させ絶縁性基板に着弾させることによって、該絶縁性基板表面に吐出流体による描画パターンを形成する静電吸引型流体吐出装置による描画パターン形成方法において、

上記ノズルの流体噴出孔は、そのノズル径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、

上記基板が絶縁性基板であり、該絶縁性基板に対し、吐出流体の吐出前に、描画パターンを形成すべき箇所の周囲に、予め吐出流体を帯電させるための駆動電圧極性とは同極性の電荷を付与することで電荷パターンを形成し、

上記電荷パターンにて囲まれた描画パターン形成領域上に流体吐出を行うことによって吐出流体による描画パターンを形成する描画パターン形成方法。

- [21] 感光性材料からなる絶縁性基板を用い、

上記電荷パターンは、上記絶縁性基板の表面を一様に帯電させた後、一様帯電された絶縁性基板の表面に所定のパターンにてレーザ照射を行い、レーザ照射された箇所の除電を行うことによって形成される請求の範囲第20項記載の描画パターン形成方法。

[22] 電圧印加により帯電された吐出流体を、流体吐出ヘッドのノズルの流体噴出孔から静電吸引によって吐出させ絶縁性基板に着弾させることによって、該絶縁性基板表面に吐出流体による描画パターンを形成する静電吸引型流体吐出装置による描画パターン形成方法において、

上記ノズルの流体噴出孔は、そのノズル径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、

上記基板が絶縁性基板であり、該絶縁性基板に対し、吐出流体の吐出前に、描画パターンを形成しない非描画領域に、予め吐出流体を帯電させるための駆動電圧極性とは同極性の電荷を付与することで電荷パターンを形成し、

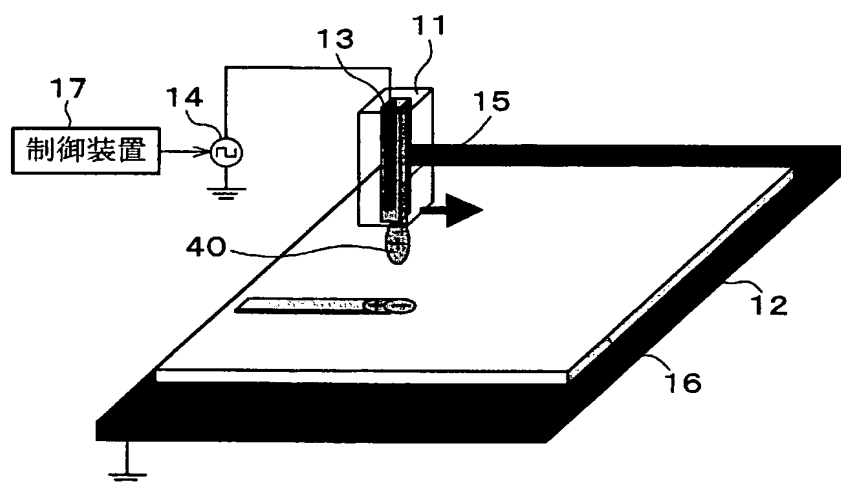
上記流体吐出への電圧印加を上記非描画領域の上でも停止することなく描画パターンを形成する描画パターン形成方法。

[23] 電圧印加により帯電された吐出流体を、流体吐出ヘッドのノズルの流体噴出孔から静電吸引によって吐出させ絶縁性基板に着弾させることによって、該絶縁性基板表面に吐出流体による描画パターンを形成する静電吸引型流体吐出装置による描画パターン形成方法において、

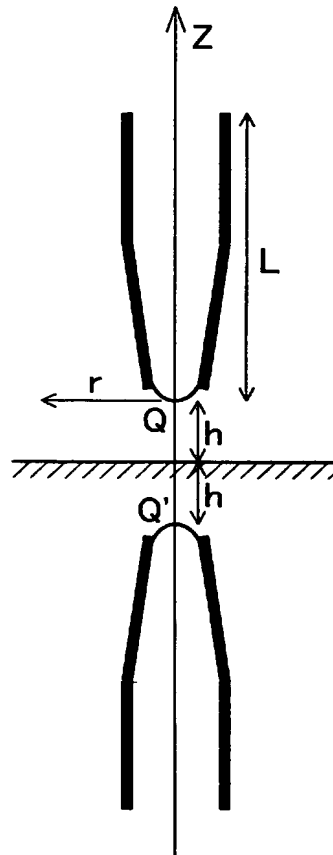
上記ノズルの流体噴出孔は、そのノズル径が $0.01\sim 25\mu\text{m}$ であると共に、

上記基板が絶縁性基板であり、該絶縁性基板の導電材による第1の描画パターンがすでに形成されている状態で、第1の描画パターンの上からさらに第2の描画パターンを形成する際、第1の描画パターンを形成する導電部に電圧を印加しながら第2の描画パターンを形成する描画パターン形成方法。

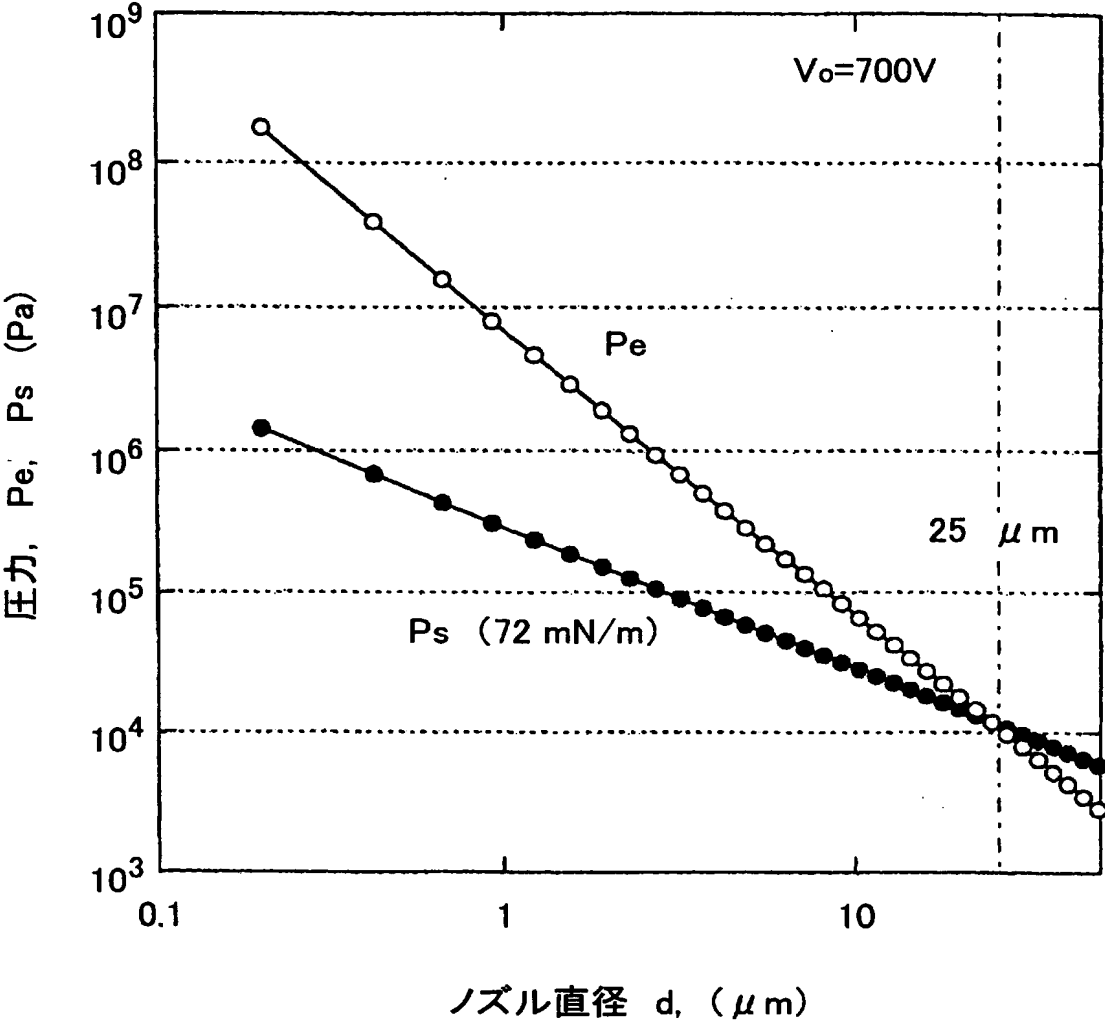
[図1]



[図2]

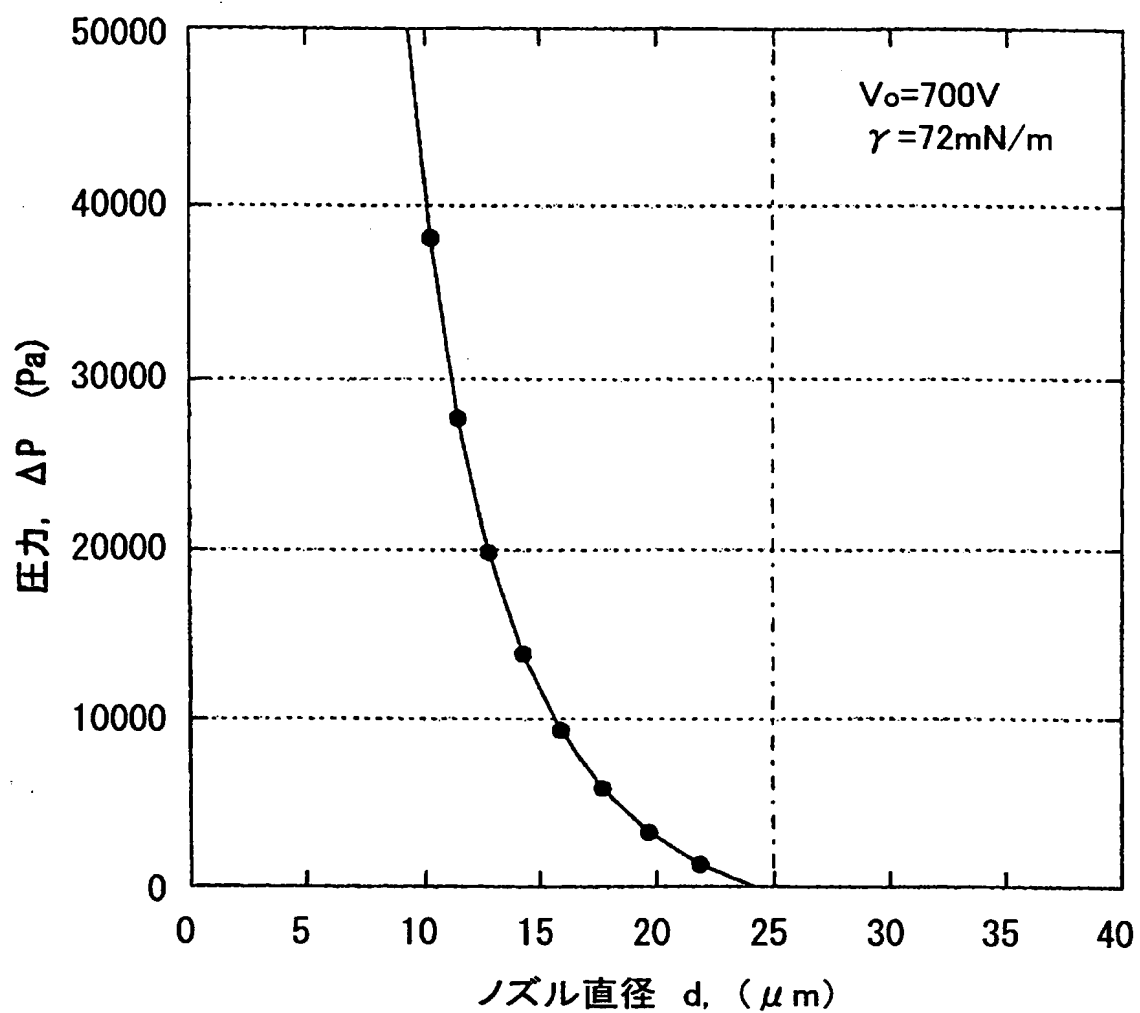


[図3]

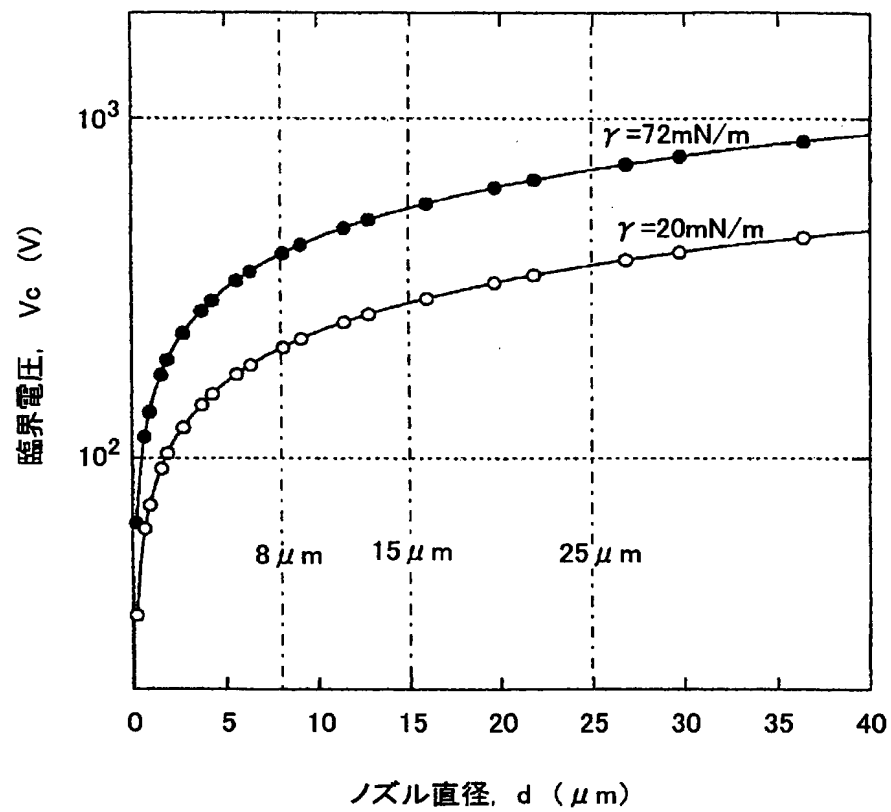




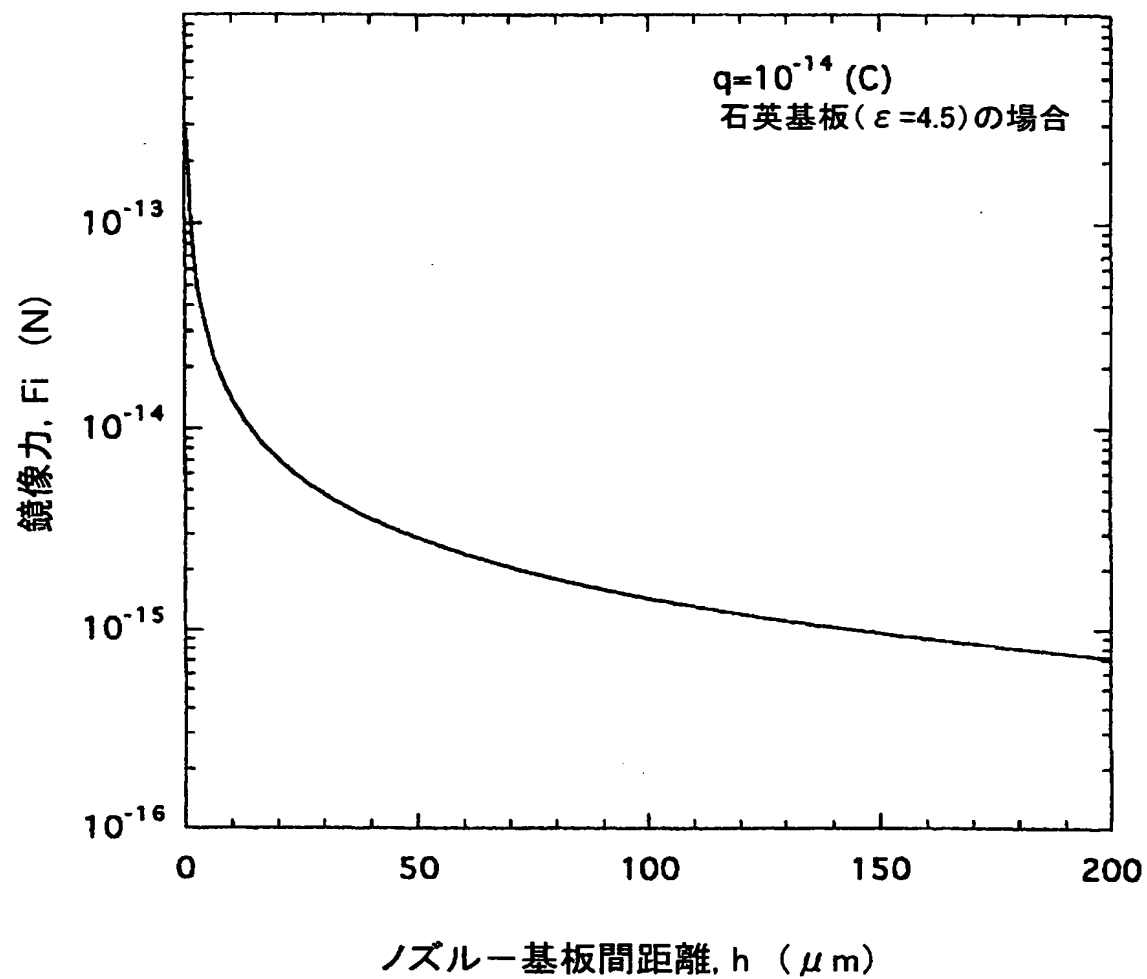
[図4]



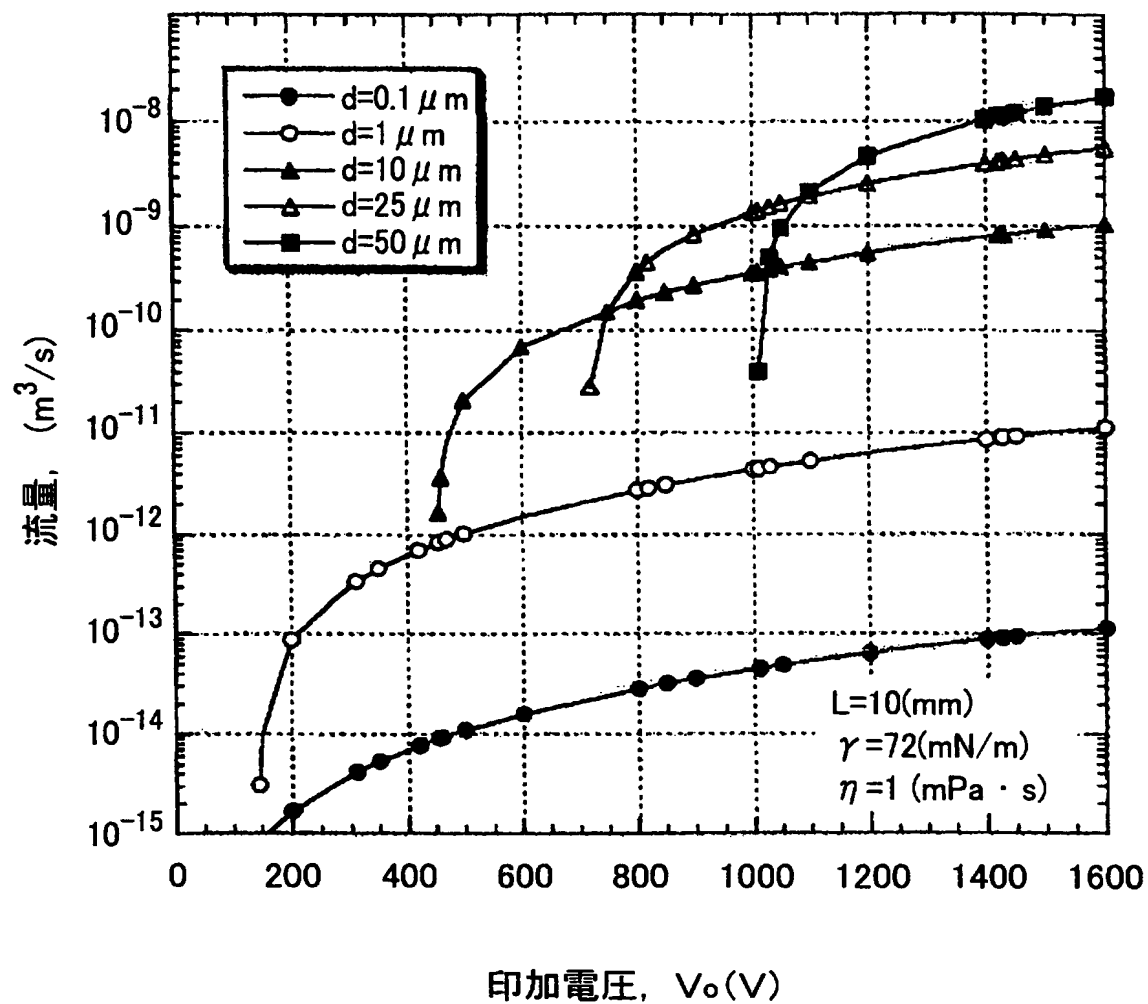
[図5]



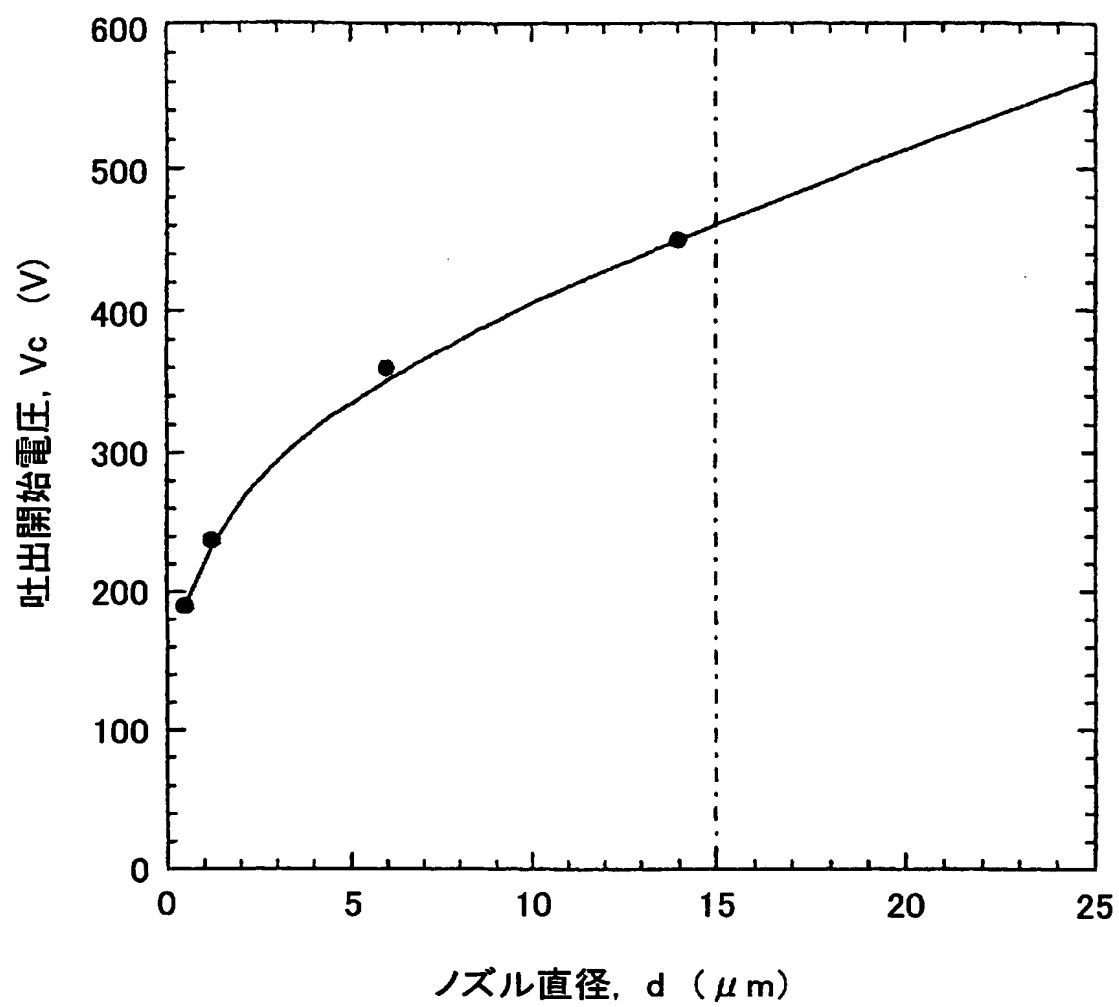
[図6]



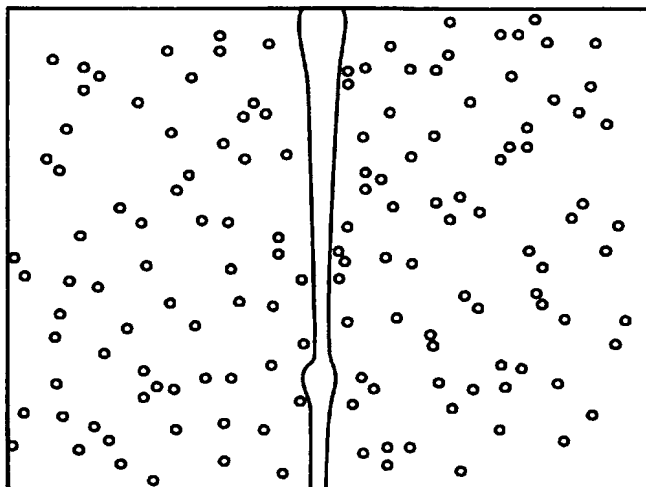
[図7]



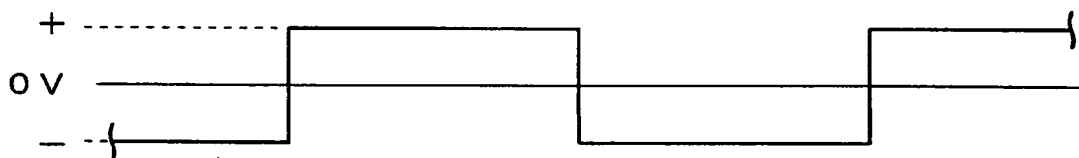
[図8]



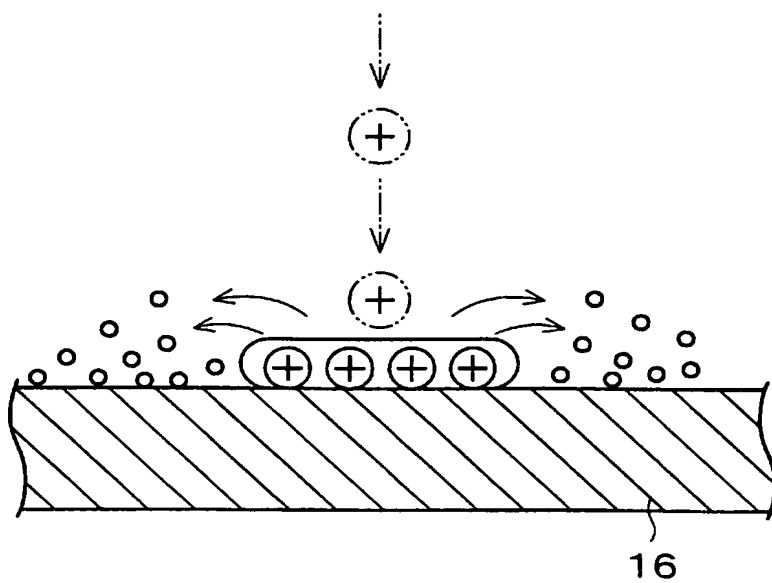
[図9]



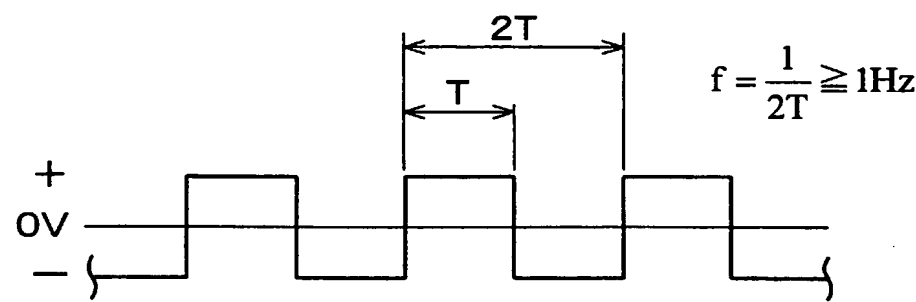
[図10(a)]



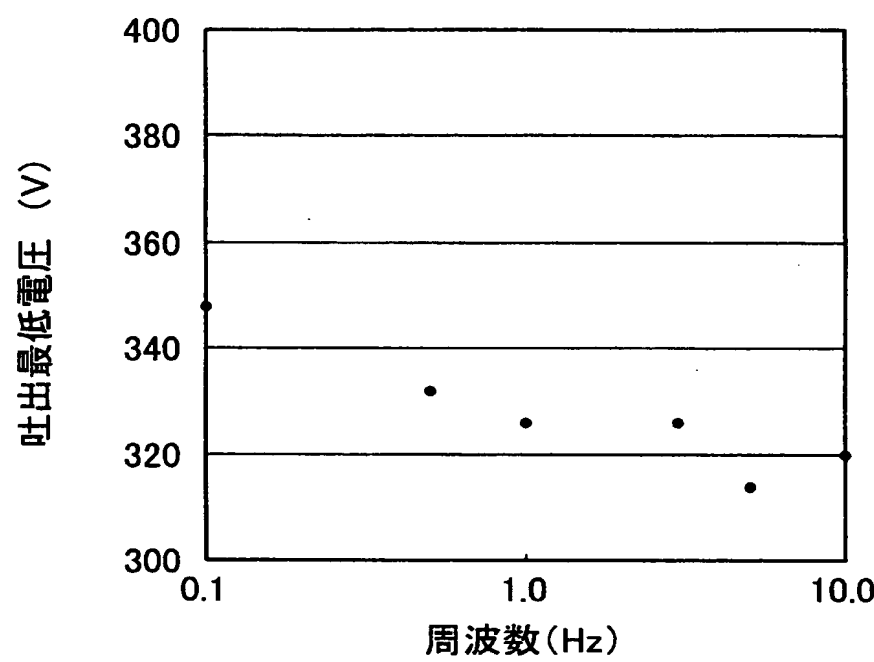
[図10(b)]



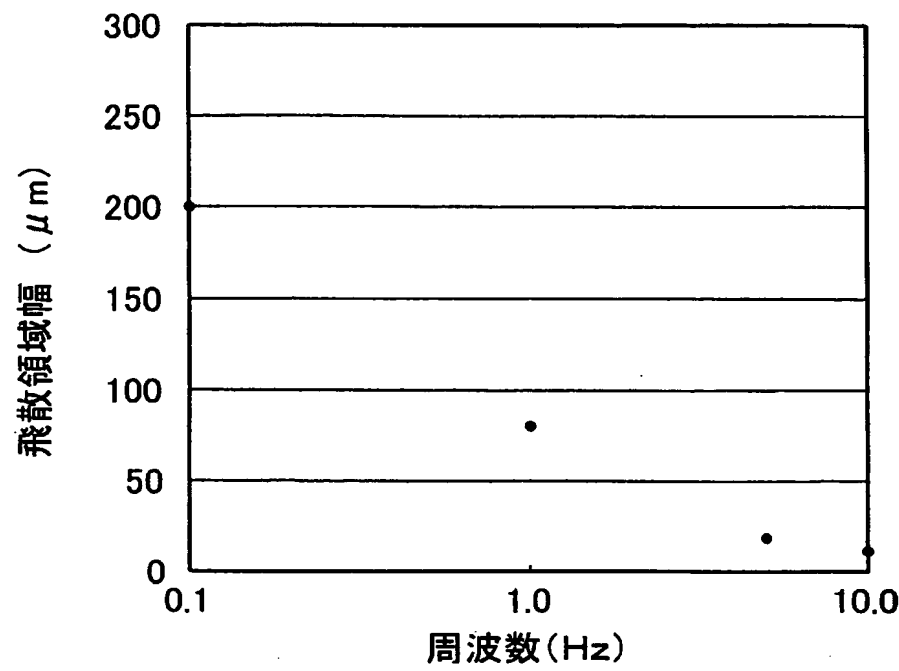
[図11]



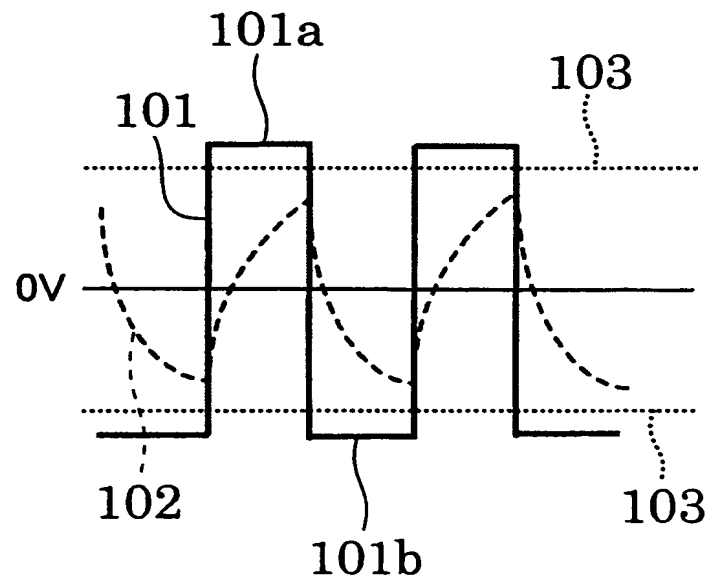
[図12]



[図13]

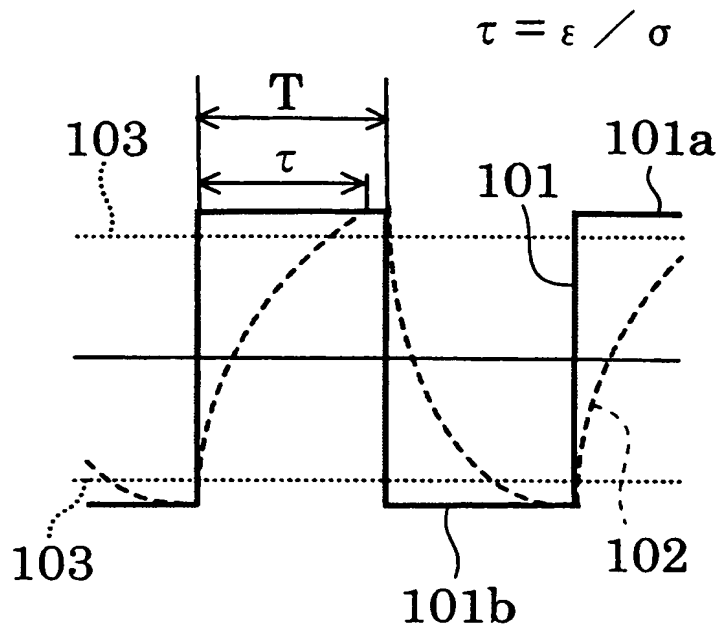


[図14(a)]

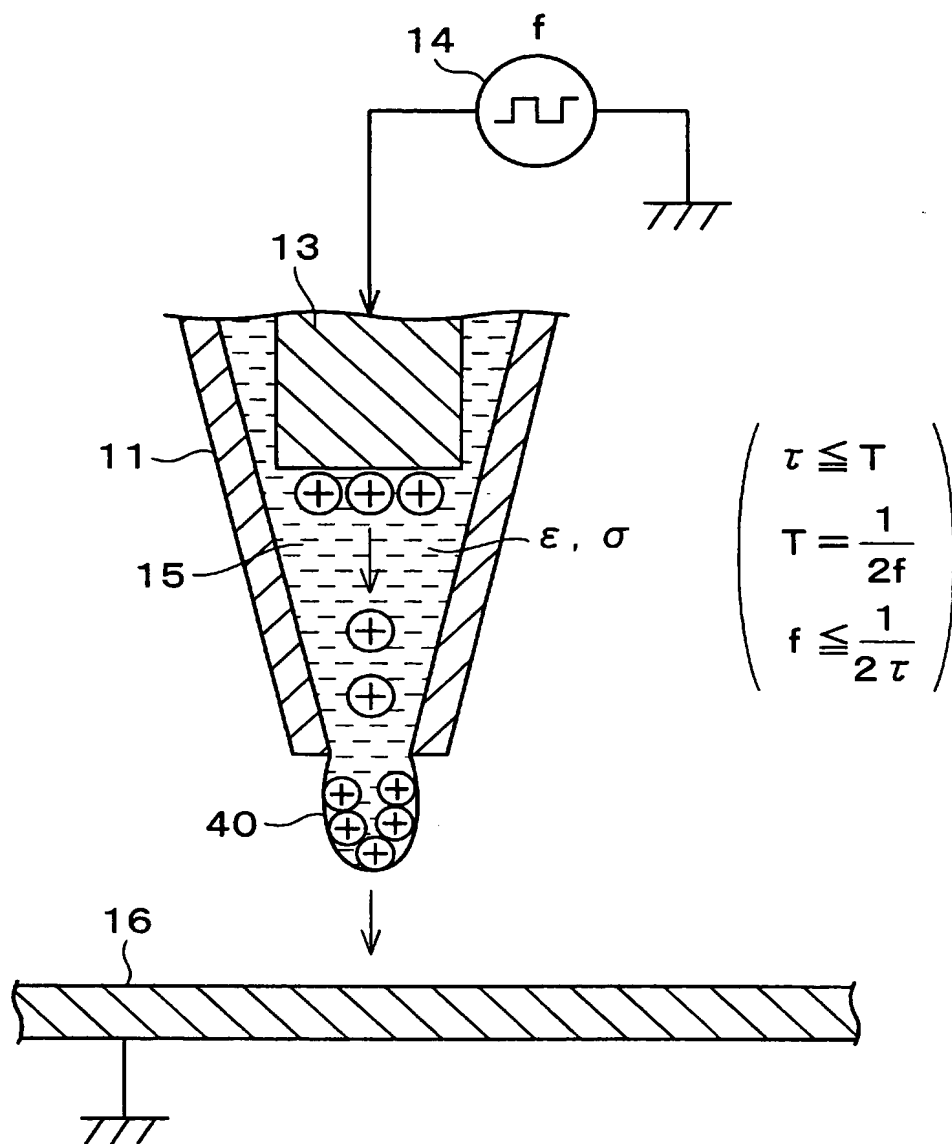




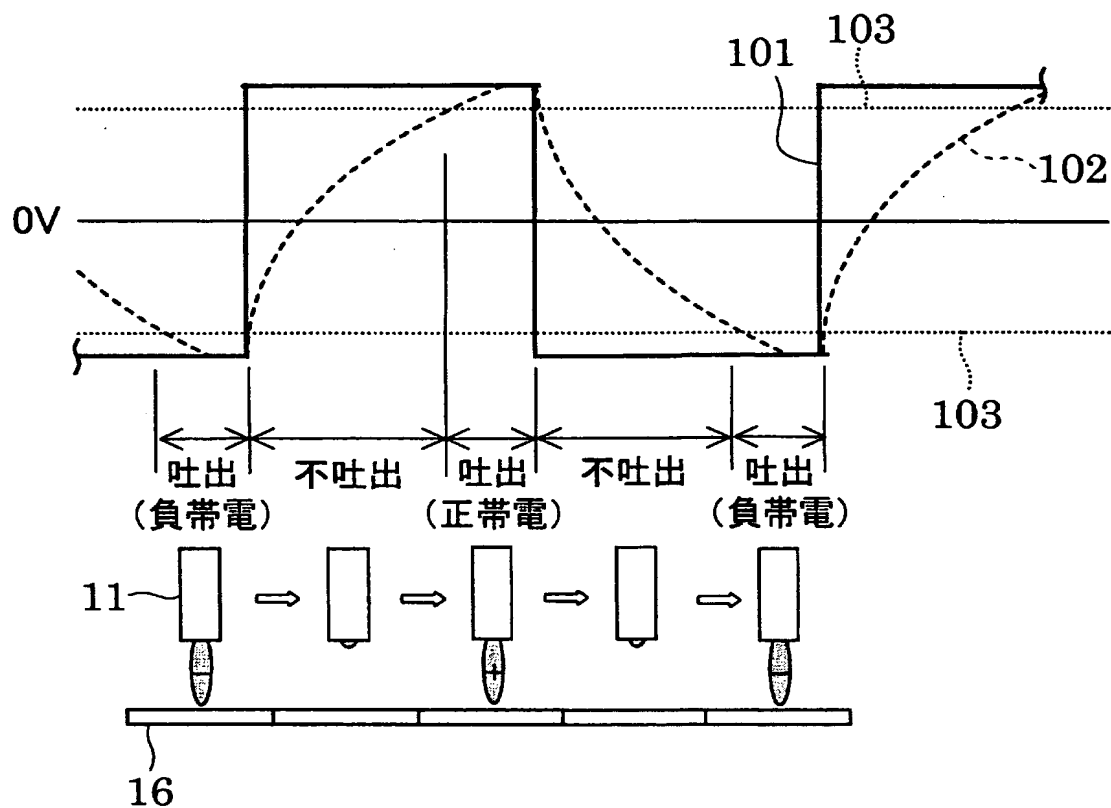
[図14(b)]



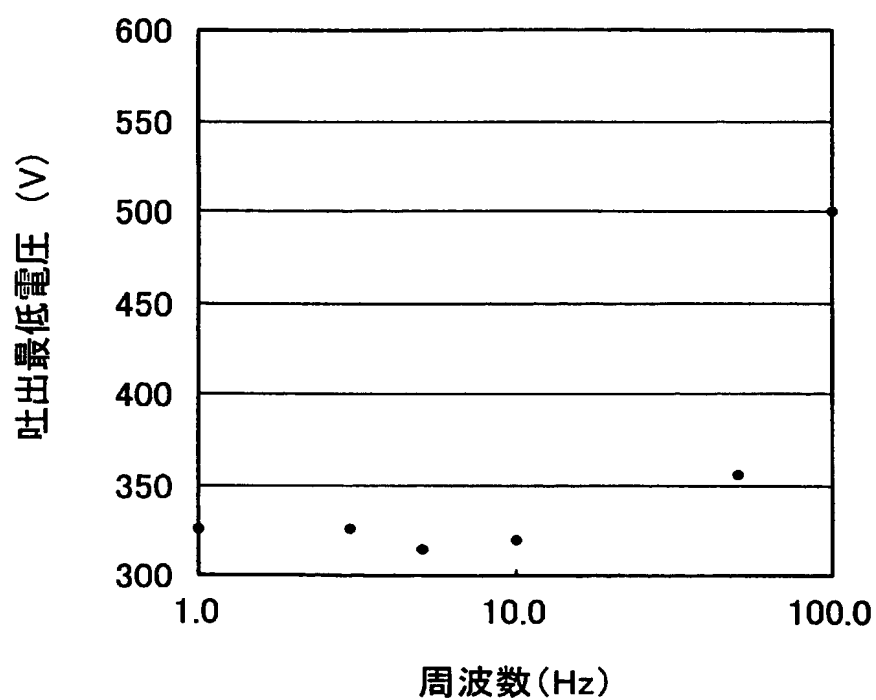
[図15]



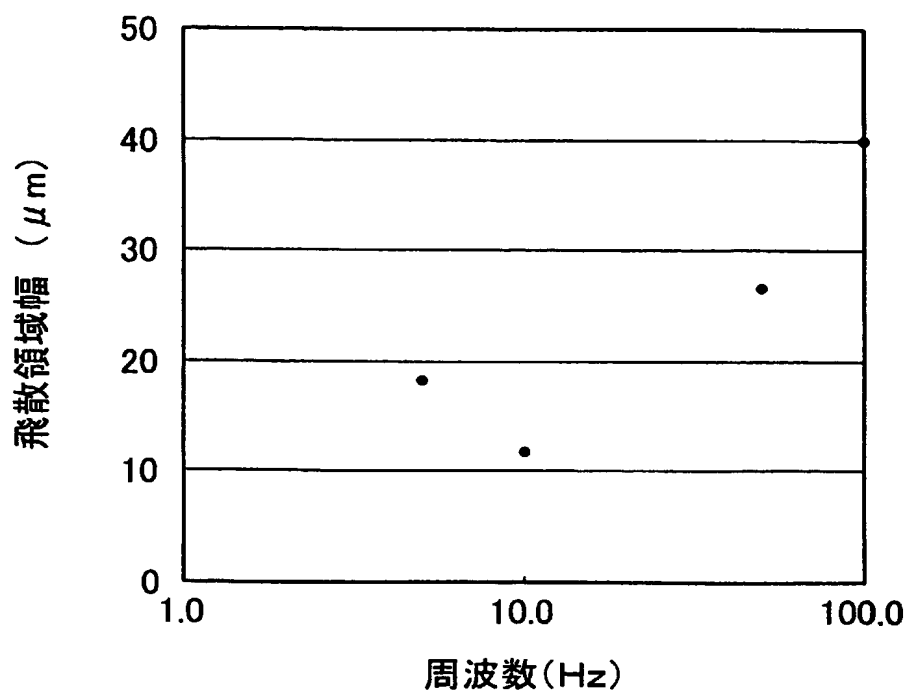
[図16]



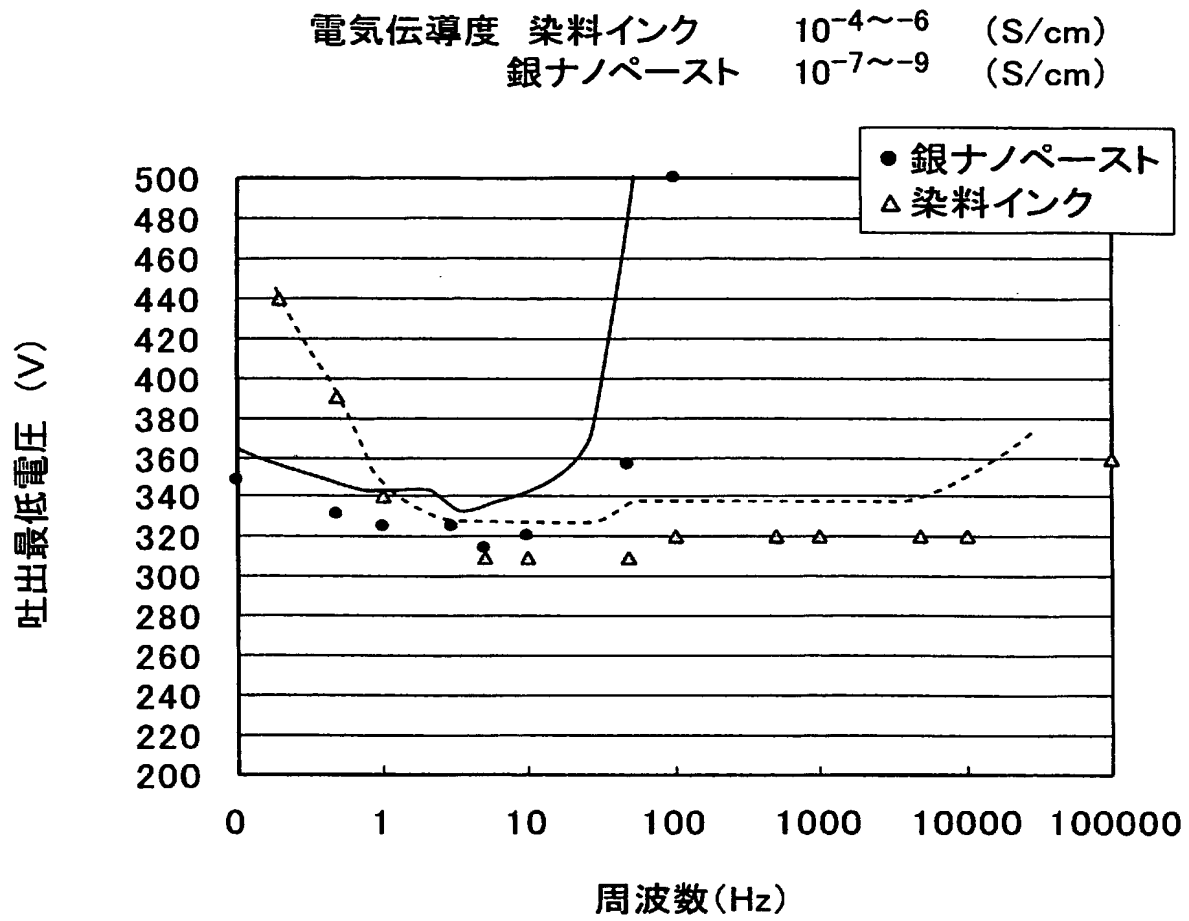
[図17]

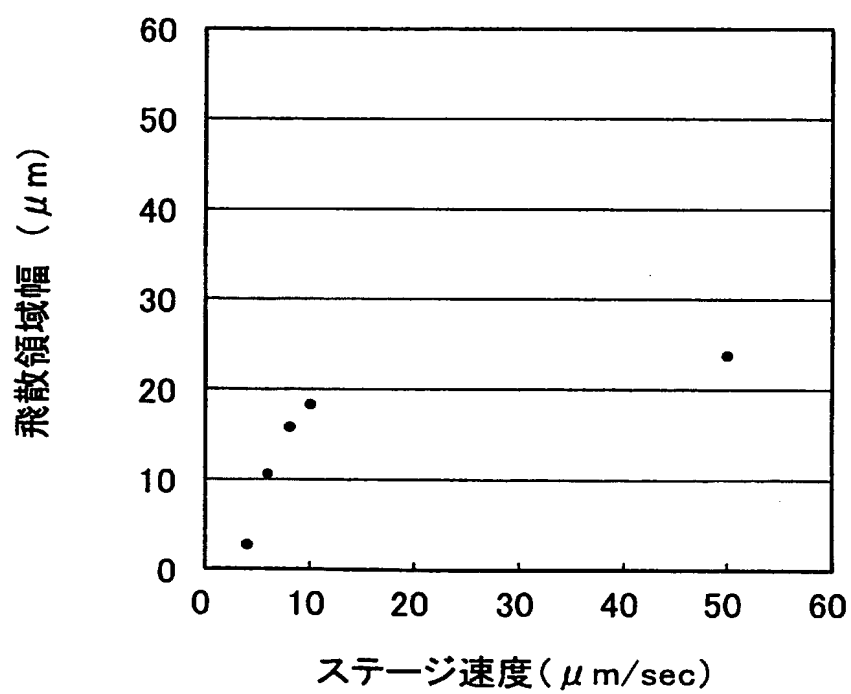
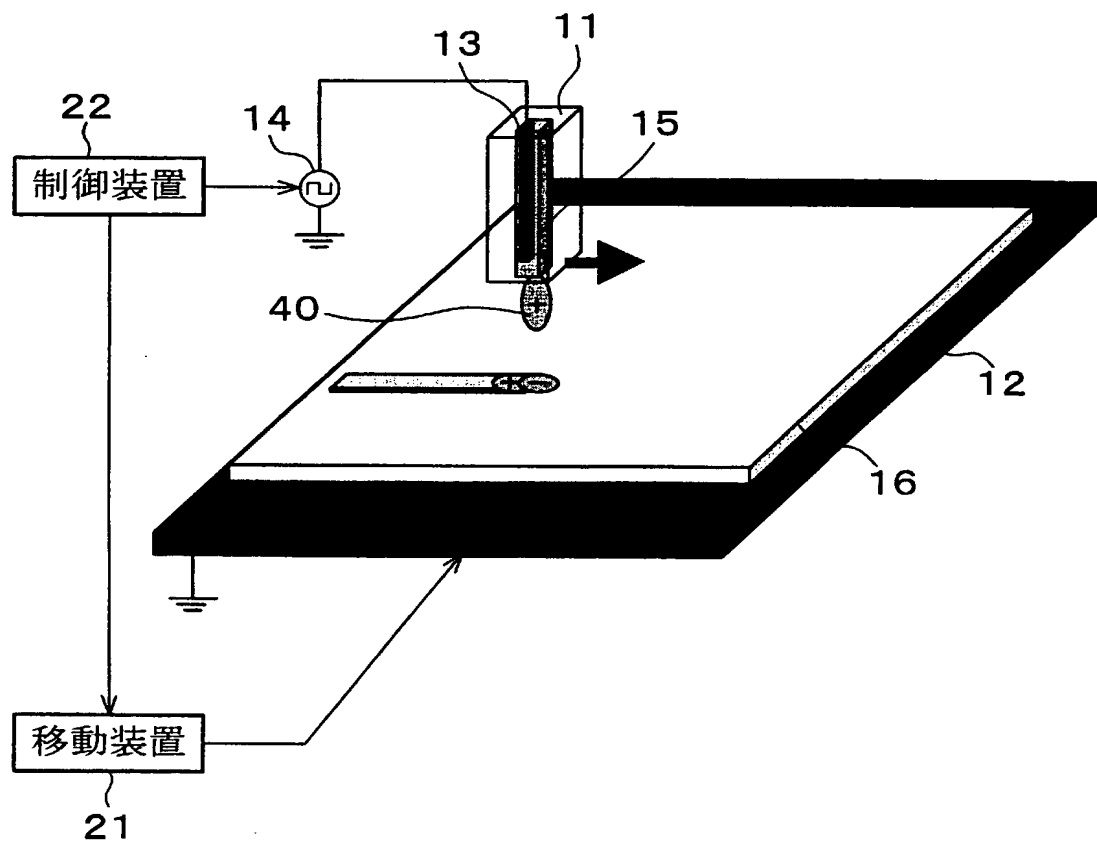


[図18]

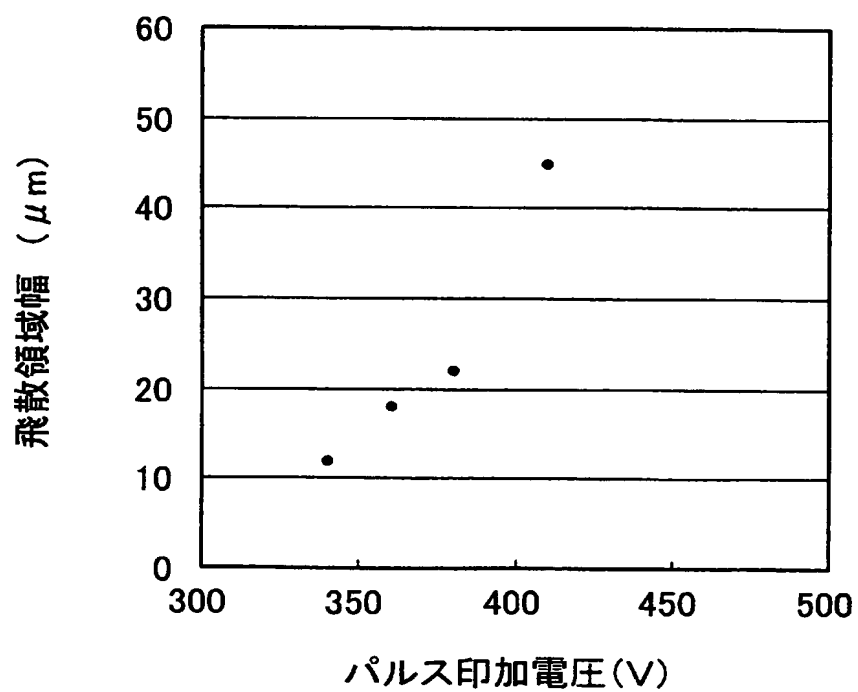


[図19]

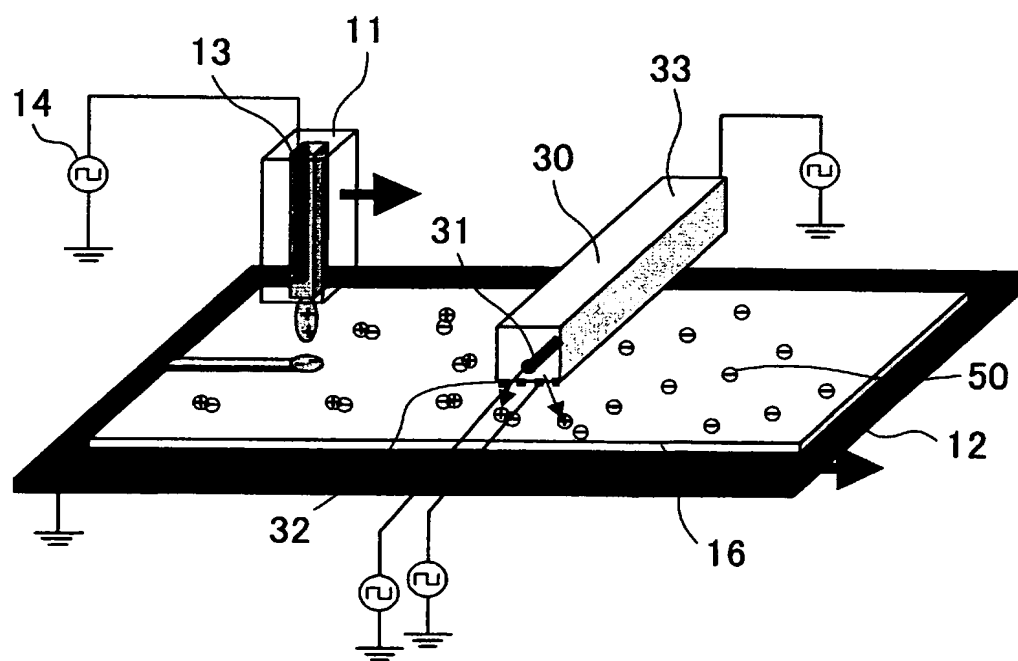




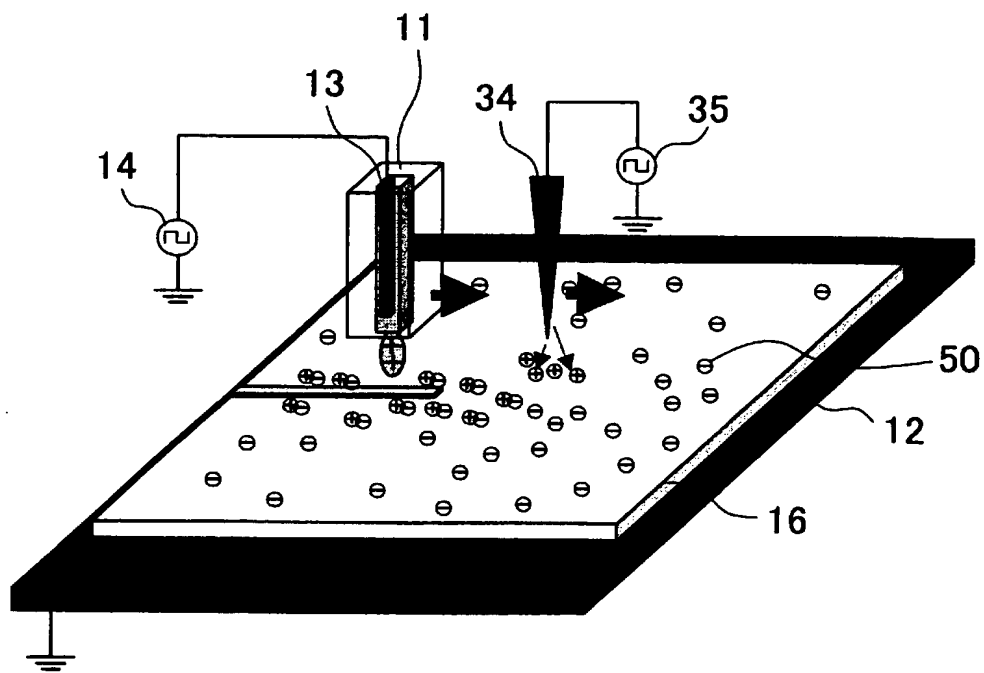
[図22]



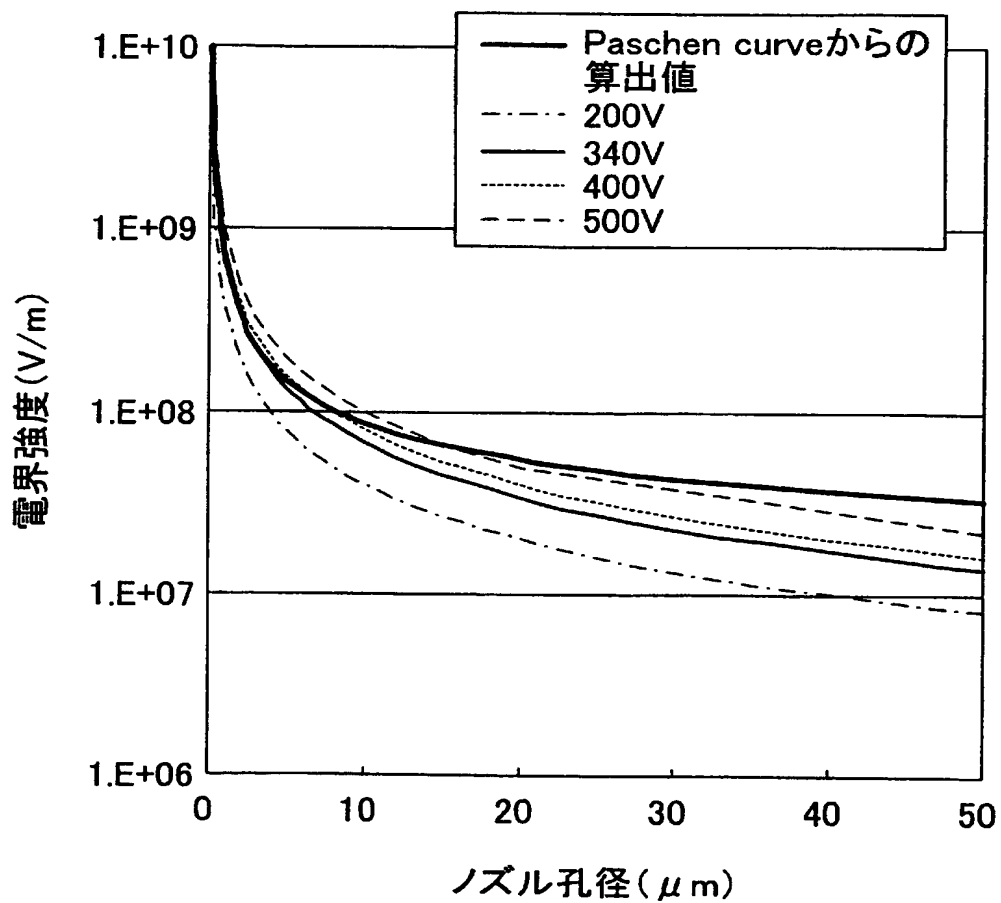
[図23]



[図24]

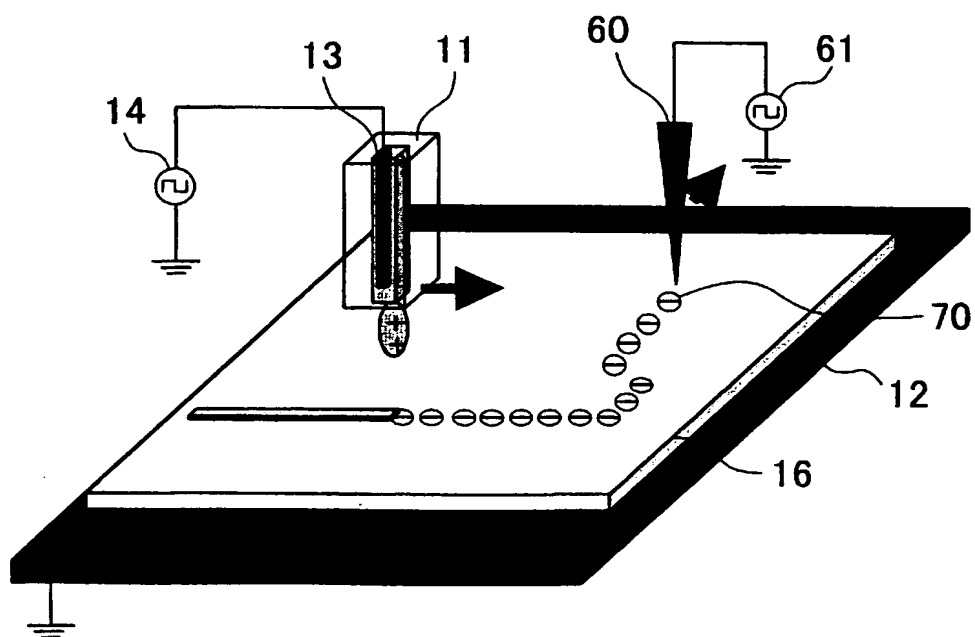


[図25]

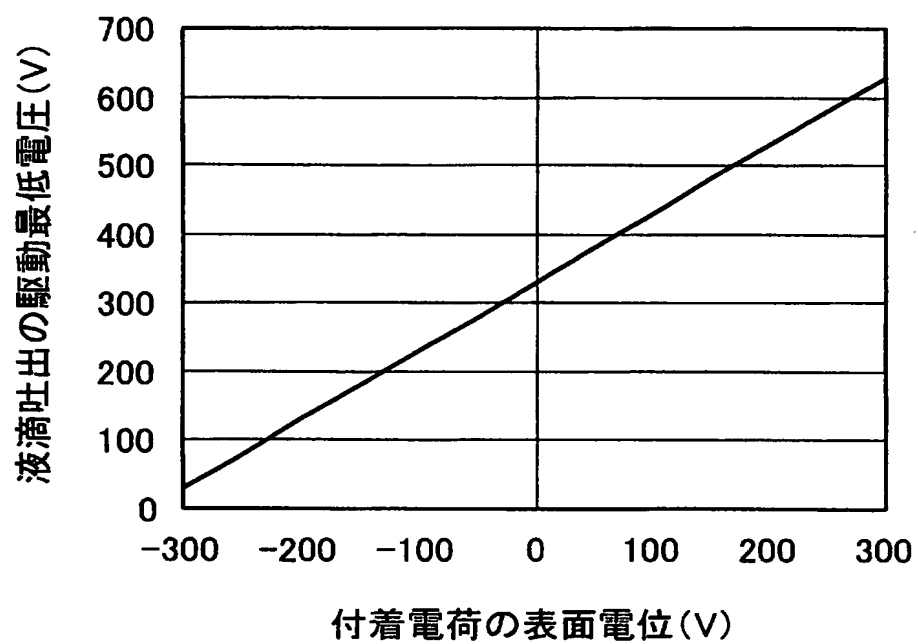




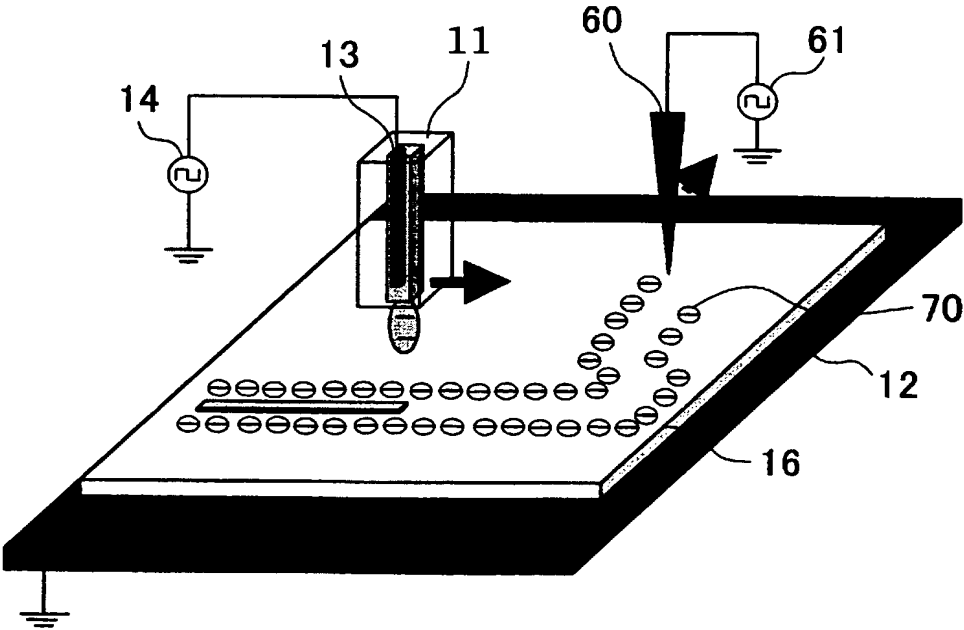
[図26]



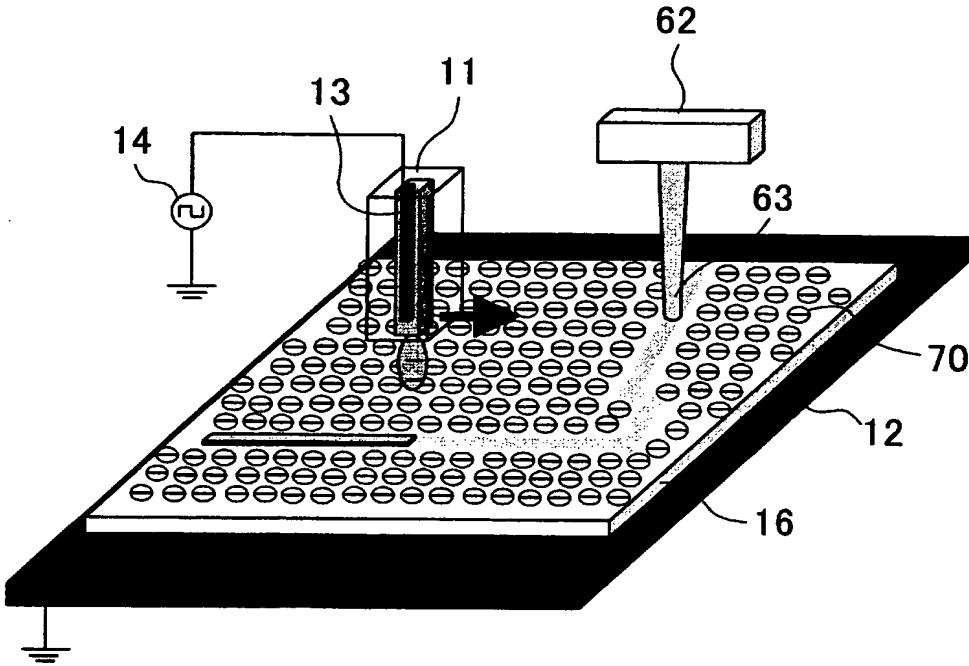
[図27]



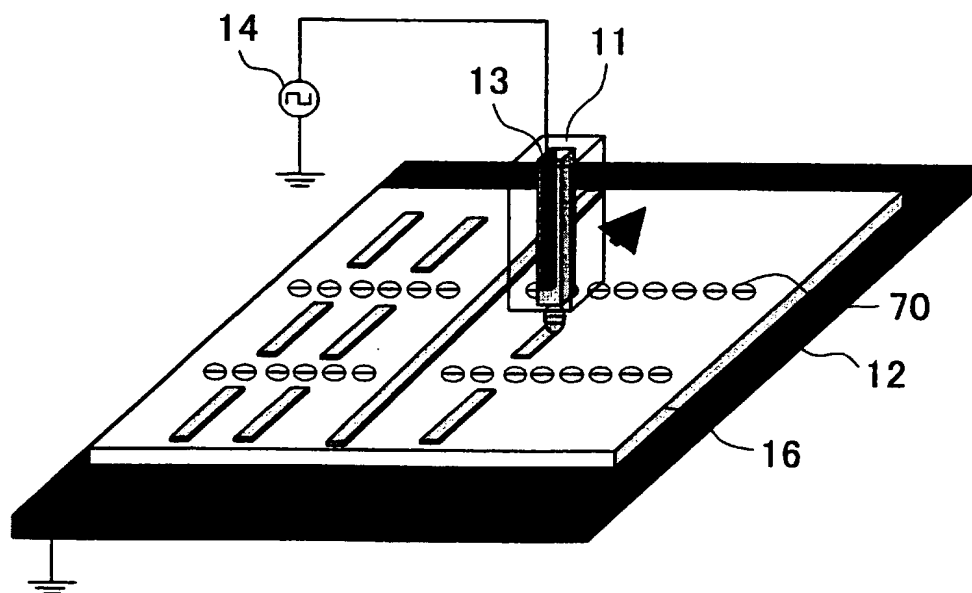
[図28]



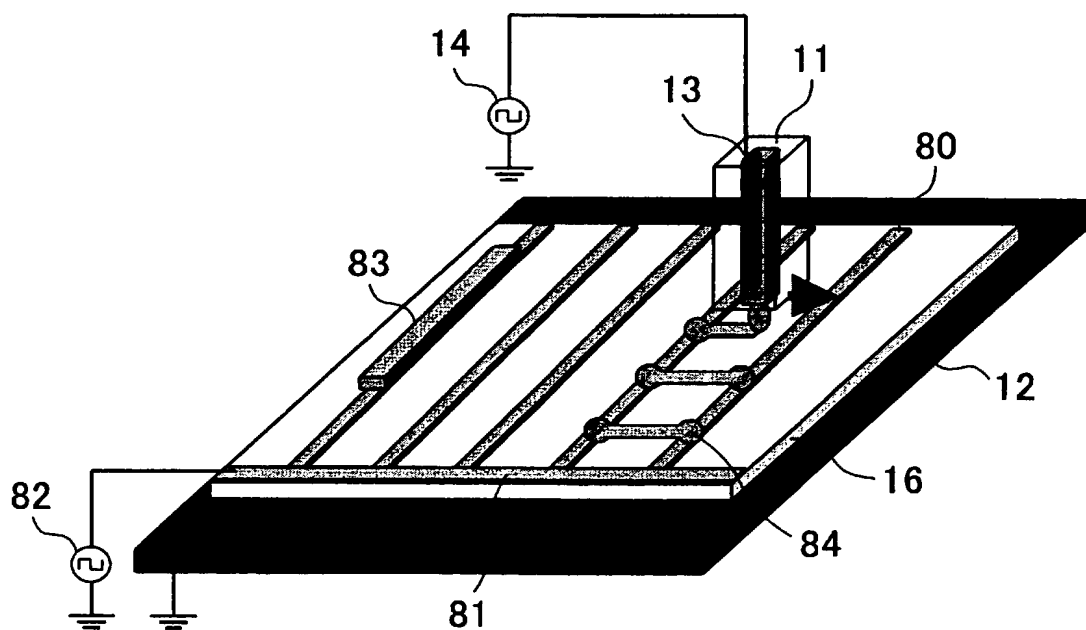
[図29]



[図30]



[図31]



[図32]

